1.1 Obiective si scop

- obiective
- scop
- topicul domeniului mecatronic include urmatoarele arii de studiu (fig.1.1) : modelarea sistemelor fizice, senzori si actuatori, sisteme si semnale, sisteme logice programabile, achizitie si procesare de date.

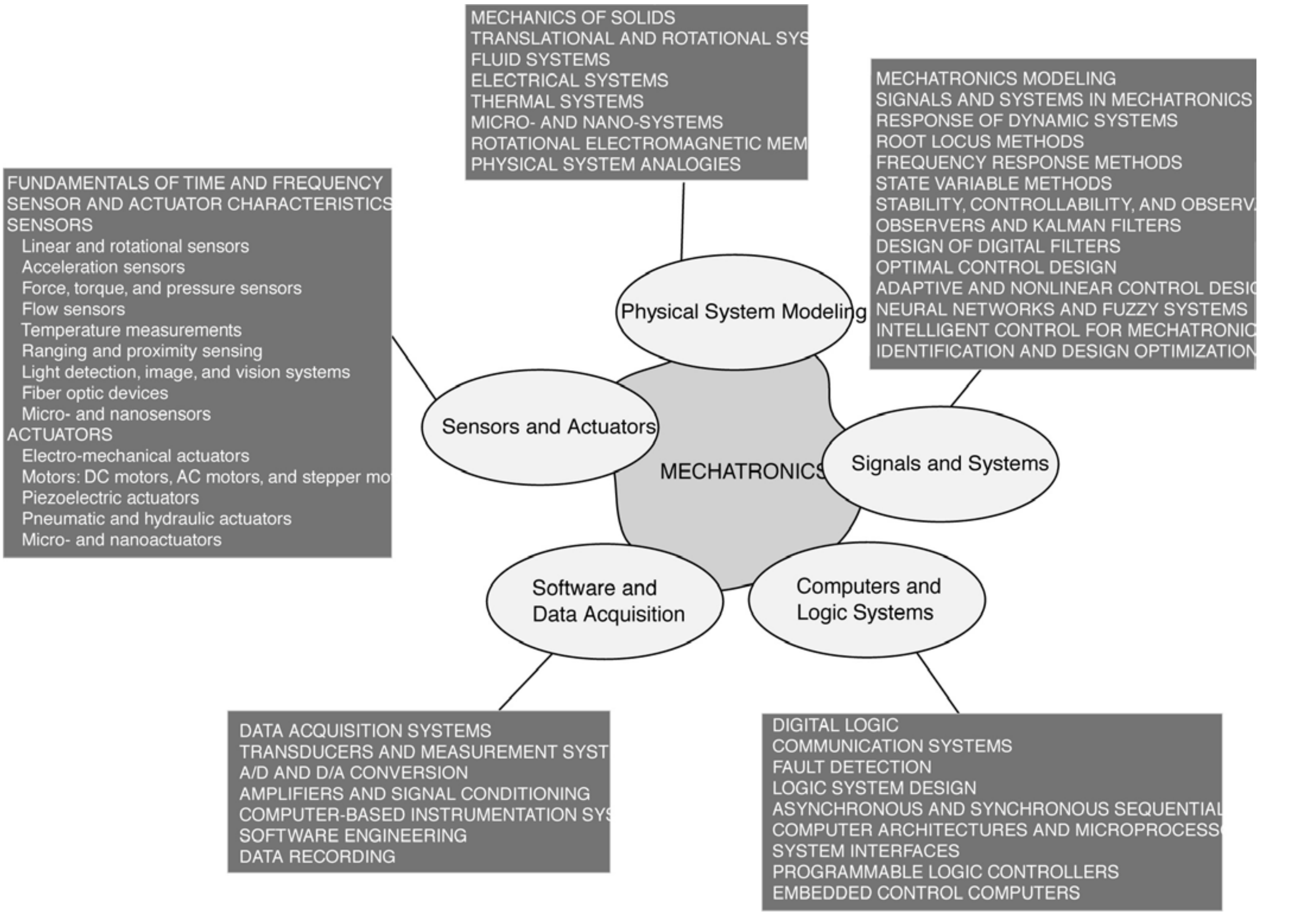


***Fig.1.1** Cuvinte cheie pentru domeniul mecatronic* (*Robert H. Bishop- The University of Texas at Austin*)

1.2 Ce este mecatronica

- **1972 –** Termenul de mecatronica brevetat de Yaskawa Electric Co. si defineste fuziunea tehnologica **Mecanica – Electronica – Informatica**
- Tehnologia mecatronica se deosebeste fundamental de tehnologia traditionala, prin faptul ca adauga componenta **informatie** la componentele **material** si **energie.**
- Conceptul de mecatronica este ilustrat in figura 1. 2

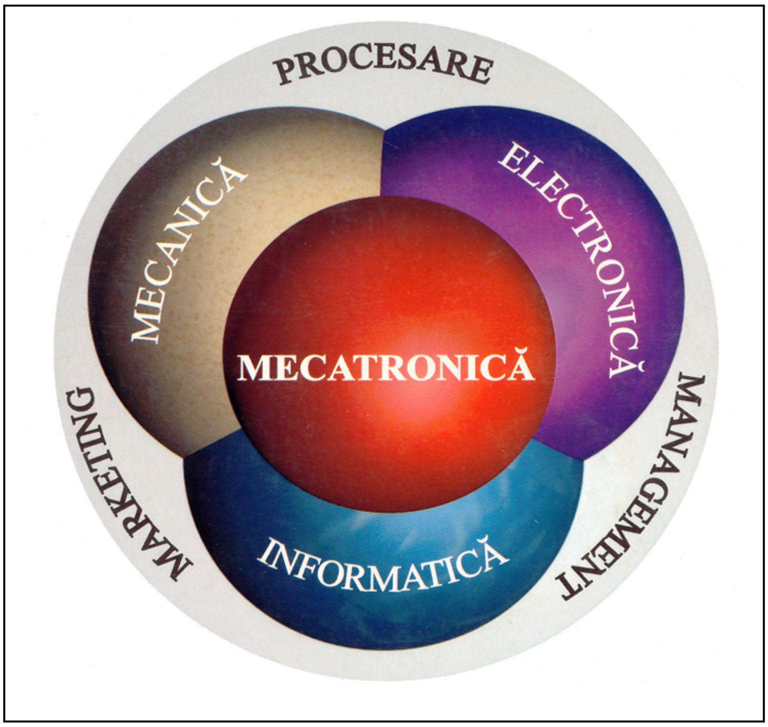


Fig.1 .2 Conceptul de mecatronica
(Vistrian Maties-
Universitatea Tehnica Cluj-Napoca)

Posibile definitii ale mecatronicii

- ✓ Mecatronica – stiinta masinilor inteligente
- ✓ Mecatronica – tehnologia mecanica ceruta de societatea informationala
- ✓ Mecatronica – viziune globala in tehnologie

Produse de inalta tehnicitate ≡ Produs mecatronic

1.3 Scurt istoric

Mecatronica este rezultatul evolutiei firesti in dezvoltarea tehnologica (fig.1.3)

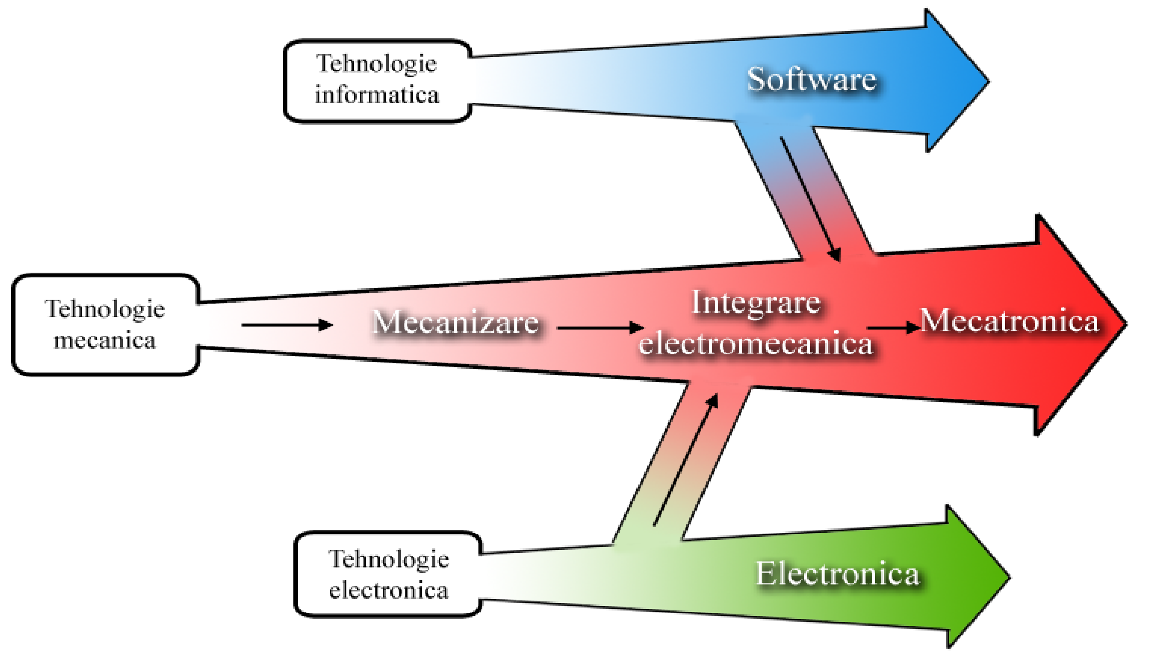


Fig. 1.3 Fluxul catre integrarea mecatronica

1.4 Relatia material-energie-informatie

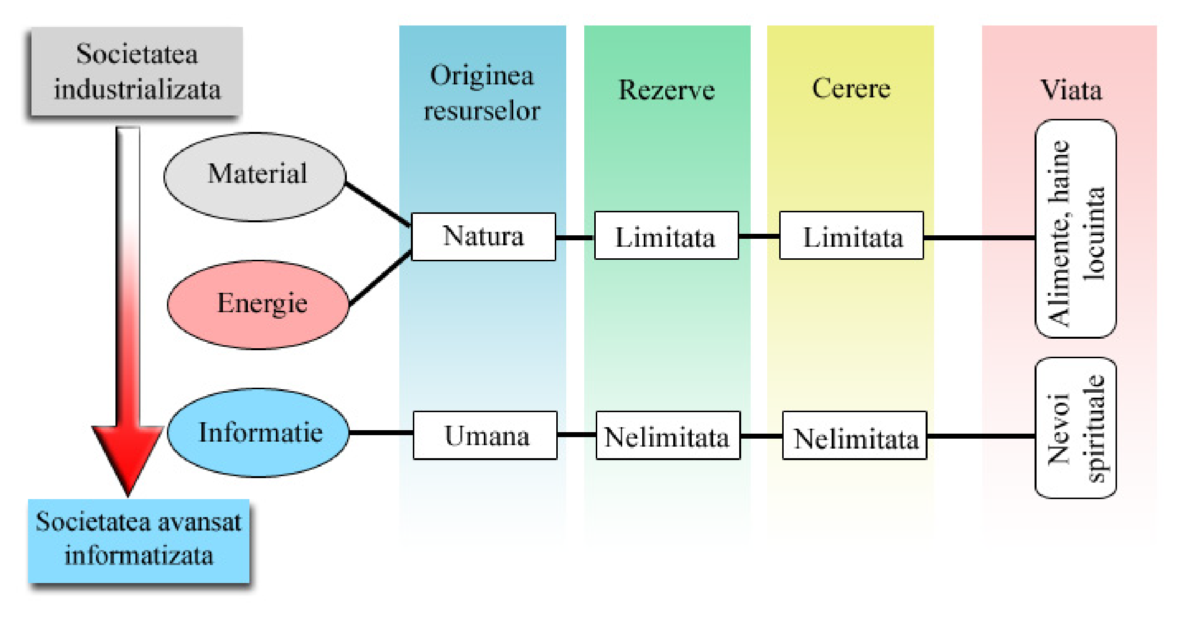


Fig. 1.4 Relatia material-energie-informatie

1.5 Mecatronica in educatia si practica inginereasca

Educatie

- **Noi principii** : dezvoltarea gandirii sistemice; formarea deprinderilor de a lucra in echipa.
- **Redefinirea obiectivelor** in procesul educational: formarea deprinderilor de informare; mentale; de actiune; sociale (lucrul in echipa, in retea).

Practica

- filosofia mecatronica a marcat saltul de la ingineria traditionala, secventiala, la ingineria simultana.

In figura 1.5 se prezinta principial modul de abordare in proiectarea traditionala (1.5.a) si mecatronica (1.5.b)

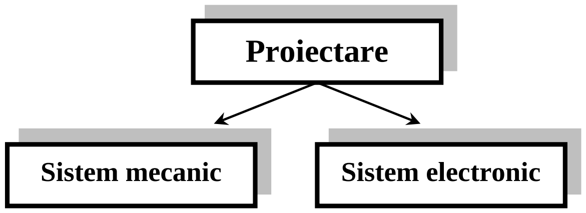


Fig.1.5.a

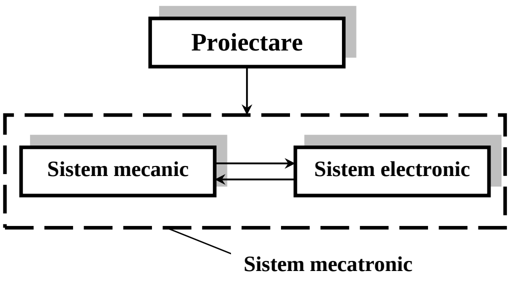


Fig.1.5.b

Tendinte

- In literatura de specialitate au devenit consacrate extinderi in alte domenii ca: **hidronica, pneutronica, termotronica, autotronica, agromecatronica** (agricultura de precizie).
- Evolutia in dezvoltarea tehnologica inseamna: ***micromecatronica, nanomecatronica*** si ***biomecatronica***. Tendinta generala este de "***intelectualizare a masinilor si sistemelor***".

1.6 Exemple de produse si sisteme mecatronice

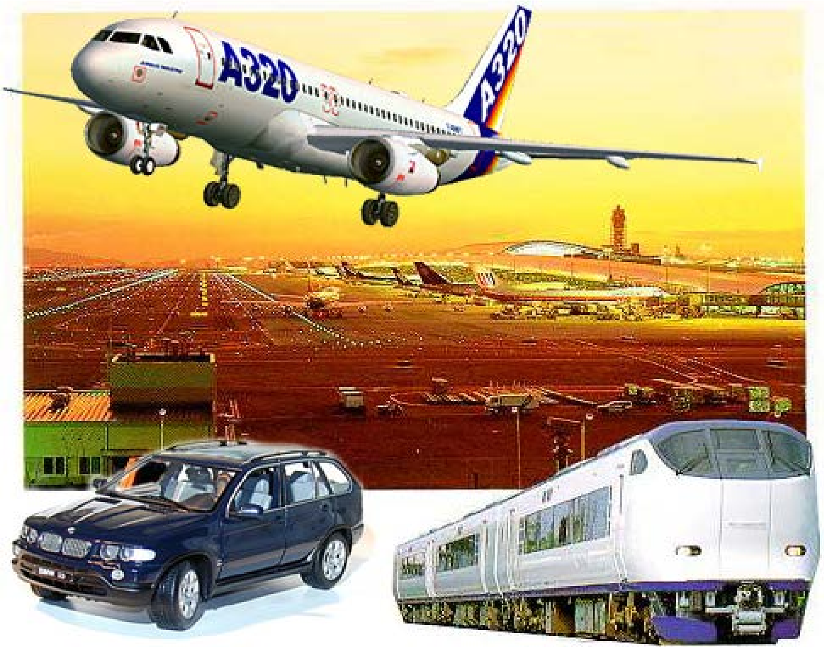


Fig. 1.6 Produse mecatronice din domeniul transporturilor

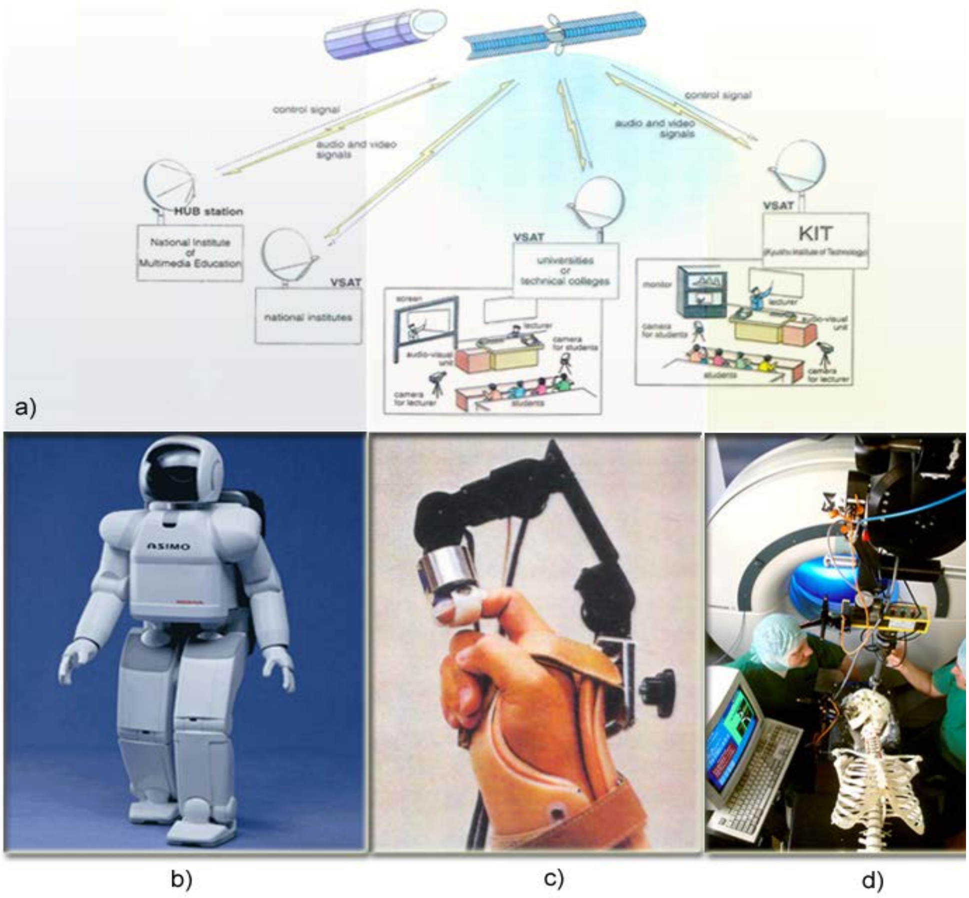


Fig. 1.7 Produse mecatronice din domeniile: a) – sisteme de comunicatii, b) – robotica, c) - ingineria reabilitarii, d) – robotica medicala

1.6.1 Robotul industrial

- Este un exemplu reprezentativ de produs mecatronic. Utilizat :

 -pentru a realiza functii de manipulare analoge cu cele realizate de mana omului

 -pentru automatizarea anumitor secvente ale procesului de productie

- Structural este un sistem ce se compune din 4 subsisteme (fig. 1.8) :

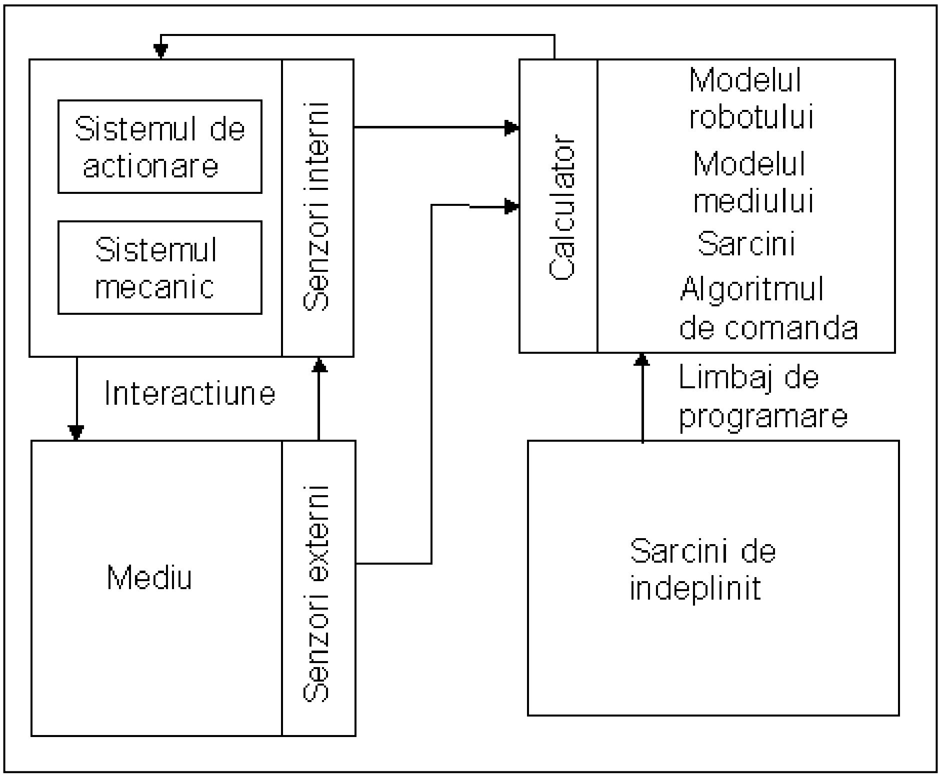


Fig. 1.8 Schema bloc a unui robot industrial

▪ ***Sistemul de conducere sau comanda*** – are rolul sistemului nervos uman, de adaptare a starii interne a robotului la starea externa a mediului prin darea de comenzi sistemului de actionare, astfel stabilind succesiunea si durata miscarilor elementelor ce compun sistemul mecanic

▪ ***Sistemul de actionare*** - analog sistemului muscular uman, pune in miscare elementele sistemului mecanic pe baza comenzilor primite de la sistemul de comanda

▪ ***Sistemul mecanic*** – analog sistemului osos uman, asigura miscarile dorite obiectelor manipulate

▪ ***Sistemul senzorial*** – asemenea organelor de simt, transmite informatii despre starea interna si externa a robotului catre sistemul de comanda

1.6.2 Hard-disc

Rol – stocarea informatiei pe suport magnetic

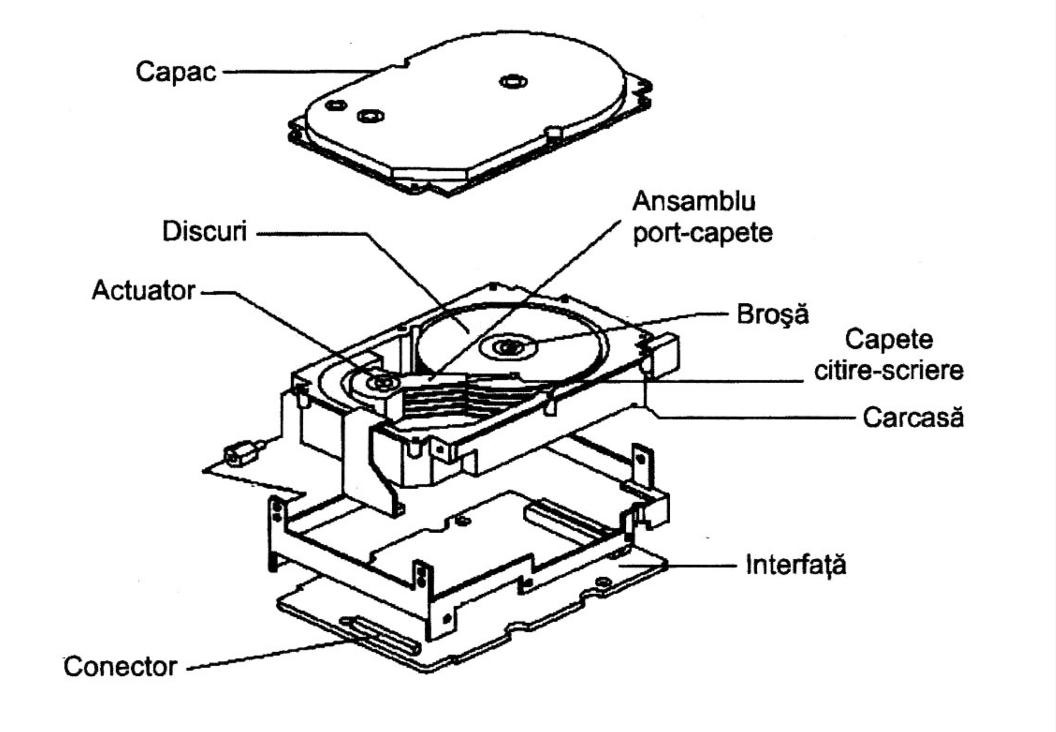


Fig. 1.9 Componentele principale ale unui hard disc

1.6.3 Automobilul-sistem mecatronic

Exemplu: motorul unui automobil modern.

Obs : constructiv, motorul automobilului mecatronic are o structura modulara, avand componente (cu o autonomie functionala relativa): sistemul de alimentare; sistemul de aprindere; sistemul de racire; sistemul de ungere etc.

Cazul automobilului clasic ⇒ aceste componente sunt elemente ale unui lant cinematic antrenat de la arborele motor.

In automobilul modern, functionarea sistemului se bazeaza pe culegerea si prelucrarea informatiilor de la senzori incorporati in motor. Senzorii incorporati in motor permit masurarea temperaturii, momentului de torsiune la arborele motor, turatiei, presiunii din cilindri etc.

- Semnalele sunt preluate de la senzori de catre ***unitatea electronica de comanda (ECU)***, comparate cu datele din memorie, in urma acestei comparatii rezultand comenzile de reglaj (fig.1.10)

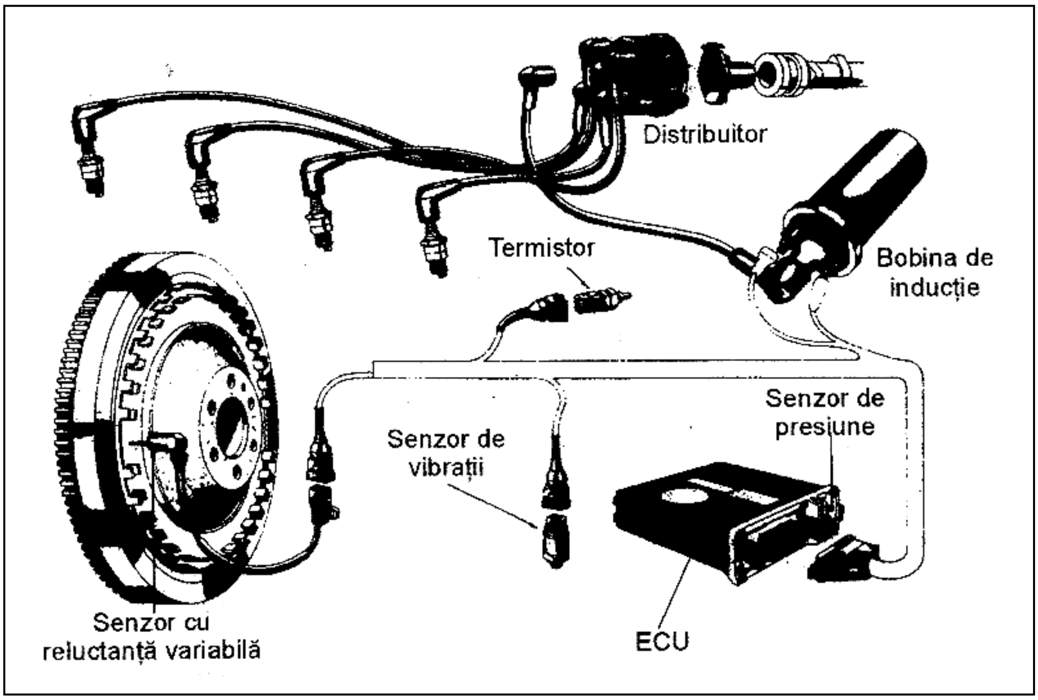


Fig.1.10-Sistem de reglare electronica a aprinderii

ECU contine : microprocesoare, memorii, circuite de conditionare a semnalelor, filtre, amplificatoare de putere etc.

***Avantaje*:** buna functionare a aprinderii nu este influentata de uzura altor componente ca in cazul sistemelor exclusiv mecanice.

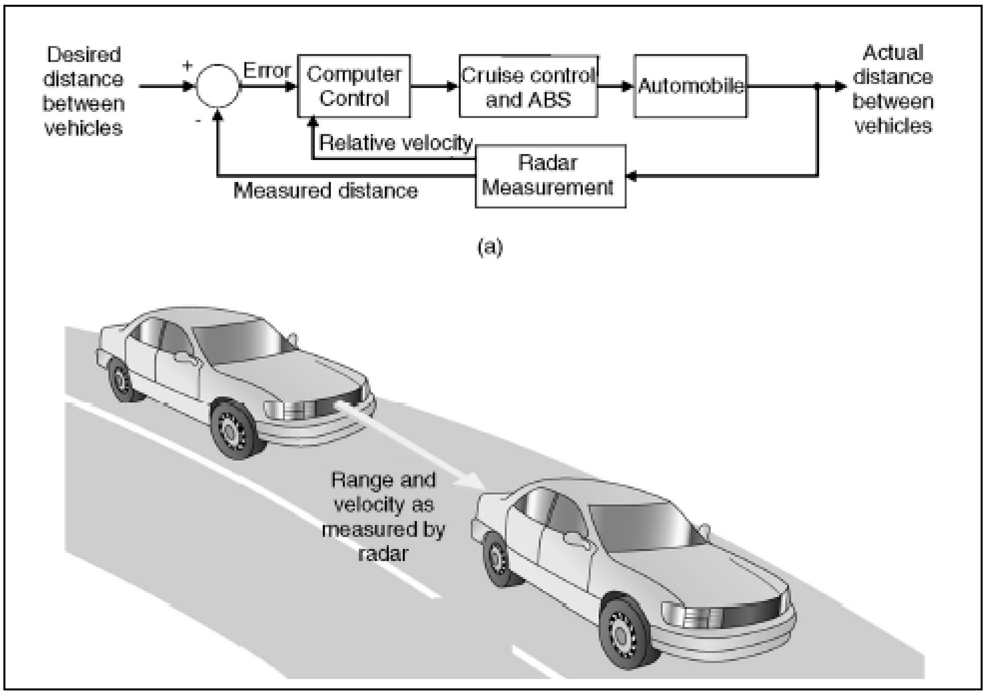


Fig. 1.11. Utilizarea unui radar pentru a masura distanta si viteza dorite a fi autonom mentinute intre vehicule (Modern Control Systems,9th ed., R. C. Dorf and R. H. Bishop, Prentice-Hall, 2001)

1.7. Importanta studiului mecatronicii

- **Problema integrarii** este esentiala in mecatronica. In realizarea diferitelor produse si sisteme, trebuie gasite solutii specifice pentru integrarea componentelor: mecanica-electronica-informatica.
- Problematica sistemelor mecatronice nu poate fi abordata fara o fundamentare a notiunilor specifice pentru **teoria sistemelor.**

1.8 Educatia mecatronica in Romania



Laboratorul de Hidronica si Pneutronica

2. Notiuni de teoria sistemelor

2.1 Notiunea de sistem

Definitie

-Prin sistem se intelege o unitate relativ delimitata fata de mediu printr-o structura interna.

-Prin sistem se intelege un ansamblu de elemente intre care exista una sau mai multe relatii afara de relatia conform careia elementele apartin ansamblului (lexicon tehnic roman)

Ex:

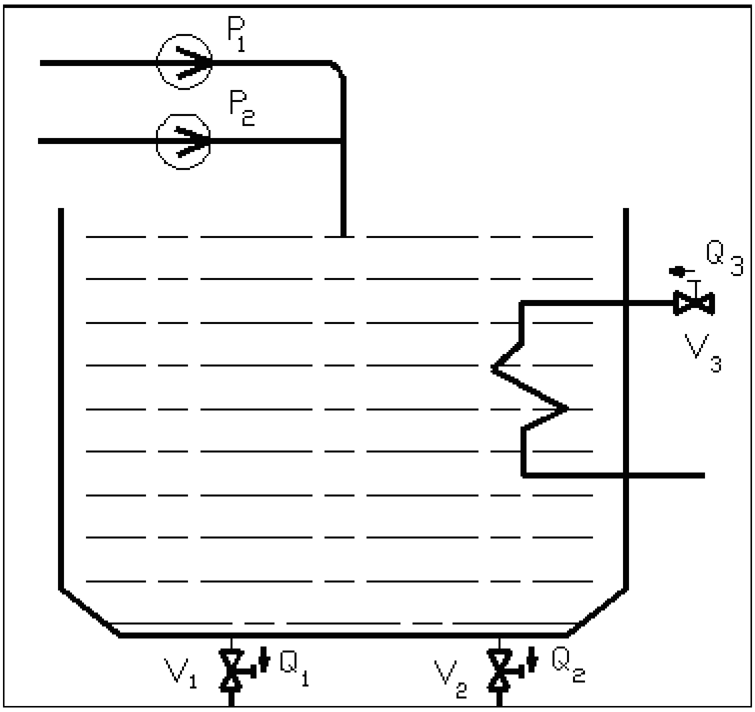


Fig.2.1

Observatii

1.Notiunii de sistem ii este caracteristica **evolutia in timp** si **desfasurarea in spatiu** → **sistem dinamic**; **sistem static**.

2. Sistem tehnic = orice realizare tehnica in cadrul careia are loc un proces de transfer informational. Este un **ansamblu unitar** in vederea realizarii unor **sarcini**, derivate din **scop**.

Concluzii

1. Pentru a exista un sistem, in sensul definitiilor, trebuie sa existe **o structura** si cel putin **o actiune**, dupa un anumit program, intre doua elemente ale structurii.
2. **Un sistem este un complex de elemente in interactiune.** Proprietatile sale nu depind numai de proprietatile elementelor componente ci, mai ales, de interactiunile dintre elementele sistemului. Intre aceste elemente exista legaturi prin care se transmit **semnale.**
3. **Un sistem este o unitate relativ delimitata fata de mediu,** delimitarea fiind evidentiata de **structura** sa interna.
4. **Notiunea de sistem este relativa.** Una si aceeasi realitate poate contine mai multe sisteme.

2.2 Teoria sistemelor TS

- **Obiective**

- prezinta **modul general de interactiune al unor obiecte** apartinand unor clase diferite, fara a lua in considerare specificul acestor clase,
- permite **descrierea structurii si comportamentului sistemelor**, intr-un limbaj unitar, matematic

- **Notiuni de baza** in TS **:**

1. notiunea de stare a unui sistem ;

- variabile de stare ;
- ecuatii intrare-stare ;
- ecuatii intrare-iesire.

2. modalitati de abordare :

a) axiomatica
b) dinamica

b.1) descrierea externa

- sistemul este considerat ca o cutie neagra

- relatiile cu mediul inconjurator sunt descrise prin intermediul variabilelor de intrare ***u, p*** si de iesire ***y***, ca marimi **externe** cutiei (fig.2.2)

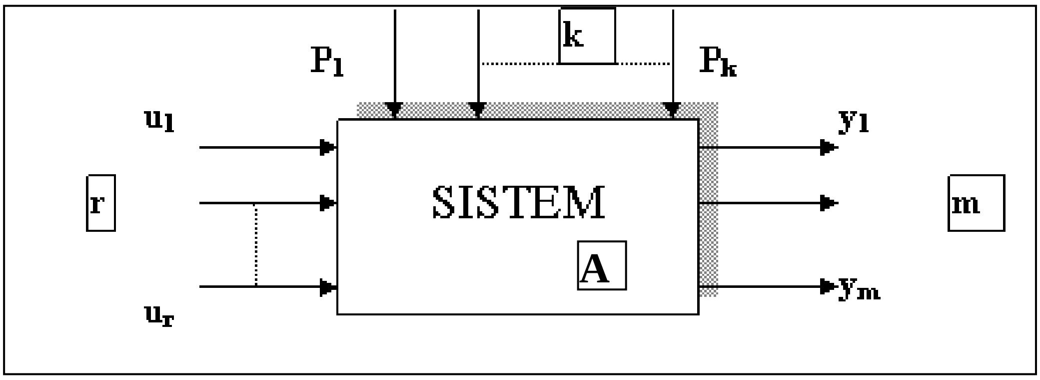


Fig.2.2

$u = (u_1, u_2, \dots, u_r)$

$p = (p_1, p_2, \dots, p_k)$ Este un **sistem dinamic orientat.**

$y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$

Ecuatia intrare-iesire are forma: $\mathbf{y = A(u, p)}$ (2.1)

Orice pereche [(u, p), y] care satisface ecuatia (2.1) se numeste **pereche intrare-iesire.**

b.2) descrierea interna : se defineste **multimea de variabile interne**, numite **de stare** si a **legaturilor functionale** intre acestea.

Aceasta multime de variabile **sintetizeaza, caracterizeaza si memoreaza** evolutia obiectelor din structura sistemului pana in momentul considerat.

In acest scop, blocul **A** din fig. 2.2 se sectioneaza ca in fig. 2.3

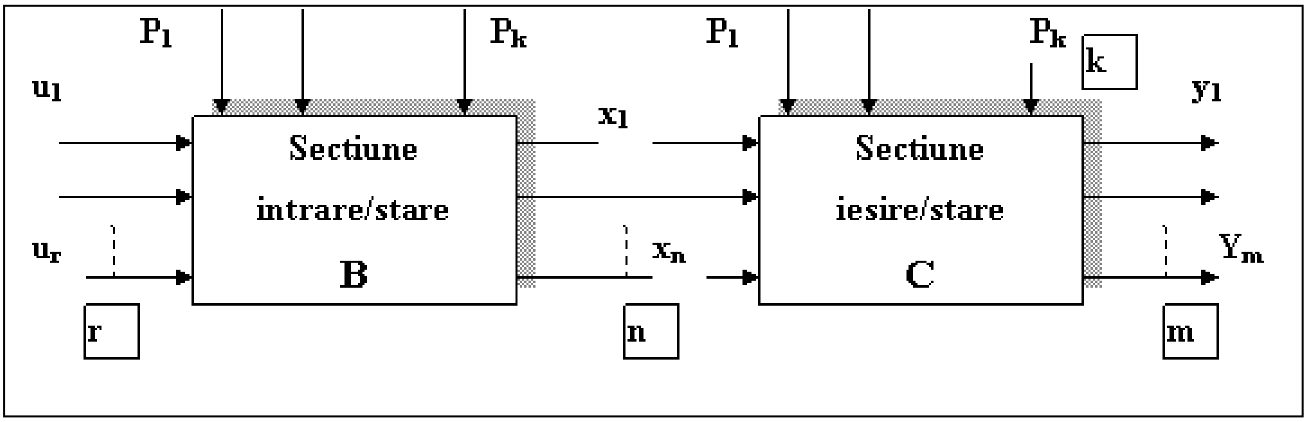


Fig.2.3

B: **x = B (u, p)** (2.2)

C: **y = C (x, p)** (2.3)

unde *B* si *C* sunt operatori care formeaza impreuna operatorul *A*

Ecuatia 2.2 genereaza ecuatia **intrare-stare**, in timp ce ecuatia 2.3 genereaza ecuatia **stare-iesire**.

Cele doua modalitati de descriere sunt utilizate in vederea **studierii sistemelor**, deci si a sistemelor mecatronice, adica: **stabilitate, controlabilitate, raspuns la diverse excitari, determinarea performantelor**.

Teoria sistemelor este utilizata in vederea rezolvarii a 3 probleme:

- **Analiza sistemelor** – **Scop**: determinarea sau evaluarea unor proprietati: stabilitate, controlabilitate, observabilitate, performante, etc.
- **Sinteza sistemelor** – **Scop**: orientarea spre obtinerea anumitor *performante* (anumite relatii intre intrari, stari si iesiri) care *nu sunt proprii sistemului*, dar care se *cer* atinse.
- **Conducerea sistemelor** – ca parte aplicativa

Observatie- *notiunea de identificare*

2.3 Sistem automat

Produsele mecatronice, asa cum s-a prezentat in cursul anterior, sunt in general sisteme automate.

- **Automatica-Automatizare-**
- **Sistemul automat** este format dintr-o parte condusa (constituita din **obiectul automatizarii**) si partea conducatoare (constituita din elementele **instalatiei sau dispozitivului de automatizare**).

Legaturile sistemului cu exteriorul se caracterizeaza prin marimile de intrare (cauze) si marimile de iesire (efecte)

2.4 Structuri de sisteme automate si elemente componente

Sistemul automat poate fi reprezentat printr-un model structural alcatuit din doua subsisteme : subsistemul condus S_2 (proces automatizat *PA*, instalatie automatizata *IA*, obiect reglat *OR)* si subsistemul de conducere sau conducator S_1(dispozitivul de automatizare *DA*). Dupa legaturile ce exista intre dispozitivul de automatizare ***DA*** si instalatia automatizata ***IA*** exista doua structuri fundamentale ale sistemelor automate :

a) **sisteme automate deschise** (fig.2.5.a) ;
b) **sisteme automate inchise** (fig.2.5.b)

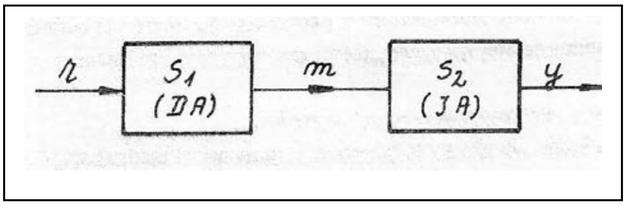


Fig.2.5a

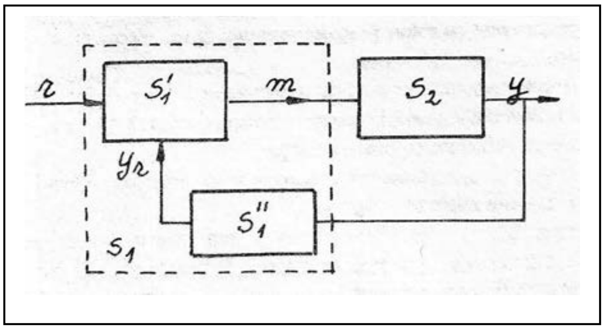


Fig.2.5 b

Sistemul automat realizeaza o anumita dependenta intre marimea de iesire *y* si cea de intrare *r*: $y = f(r)$

Sistem cu legatura inversa rigida (fig.2.5c)

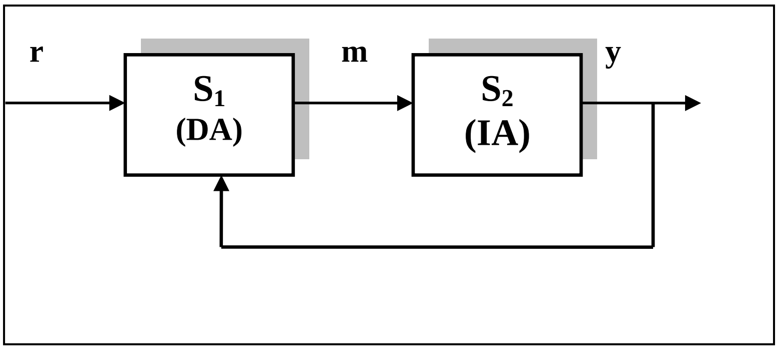


Fig.2.5c

- **Elemente componente** ale dispozitivului de automatizare

2.5 Clasificarea sistemelor

- **1. Dupa structura**, dupa cum s-a mentionat anterior sistemele pot fi cu structura ***deschisa sau inchisa***.

- **2. Dupa cantitatea de informatie** : sisteme cu ***informatie apriorica completa*** si sisteme cu ***informatie apriorica incompleta***.

- **3. Dupa modelarea transferului informational** :
  - ***sisteme deterministe***
  - ***sisteme nedeterministe***
  - ***sisteme stationare***, *cu coeficienti constanti* sau *sisteme invariante*.

Matematic aceasta se exprima astfel :

-daca sistemul raspunde la semnalul de excitatii u(t) cu raspunsul y(t),

-atunci raspunsul provocat de u(t-λ) este y(t- λ) pentru orice λ real si pozitiv.

- ***sisteme nestationare sau variante***.

- **4. Dupa relatia functionala de transfer** sistemele deterministe sunt **:**

A.Sisteme liniare, cand modelul matematic ce descrie functionarea tuturor subsistemelor este un model liniar. Sistemele liniare sunt acelea care respecta principiul suprapunerii efectelor.

Adica :

a) daca sistemul, excitat de semnalul $u_1(t)$ genereaza la iesirea sa semnalul $y_1(t)$

si

b) excitat de semnalul $u_2(t)$ genereaza la iesirea sa semnalul $y_2(t)$,

atunci

c) in cazul excitarii sale de catre semnalul $\mathbf{C_1u_1(t) + C_2u_2(t)}$, la iesirea sa se obtine semnalul $\mathbf{C_1y_1(t)+C_2y_2(t)}$, pentru orice $u_1(t)$ si $u_2(t)$ si orice constante reale C_1 si C_2.

B. Sisteme neliniare, cand cel putin unul din subsisteme este descris de un model neliniar.

Sistemele sunt deci liniare sau neliniare dupa cum conditia *c)* de mai sus se respecta sau nu .

- **5. Dupa natura semnalelor prelucrate** in sistem, se deosebesc :

A.Sisteme automate continue

B.Sisteme automate discontinue, ***discrete***. Un caz particular al sistemelor discontinue il constituie ***sistemele cu esantionare.***

- **6. Dupa numarul variabilelor de intrare si/sau iesire** :

a) ***sisteme monovariabile***

b) ***sisteme multivariabile***

- **7. Dupa modul de variatie a marimii de referinta** (marimea de intrare principala in subsistemul conductor) :

a) ***sisteme cu referinta constanta in timp*** (sisteme de stabilizare)

b) ***sisteme cu referinta variabila in timp*** (cu program, de urmarire)

2.6 Informatia- componenta a sistemelor

Informatia- date despre lumea inconjuratoare care rezulta de pe urma contactului pe care-l realizam cu ea, in procesul de cunoastere, adaptare si modificare a ei

Obs : *intre notiunile de informatie, cantitate de informatie si sens al informatiei este o mare deosebire*. Informatia capata un sens numai pentru cel care cunoaste *codul* in care este transmisa.

Elemente de aritmetică binară. Sisteme (baze) de reprezentare a numerelor:

Sistemul zecimal

Cel mai folosit sistem (bază) de reprezentare a numerelor, cu care suntem familiarizaţi încă din copilărie, îl constituie sistemul zecimal. El se bazează pe utilizarea cifrelor 0, 1, …9. În acest sistem, 10 unităţi de rang inferior reprezintă o unitate de rang superior. Exemplu:

Mii (10^3)	Sute (10^2)	Zeci (10^1)	Unităţi (10^0)
5	3	0	4

$= 5 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 0 \times 10^1 + 4 \times 10^0 = 5 \times 1000 + 3 \times 100 + 0 \times 10 + 4 \times 1 = (5304)_{10}$

Sistemul binar

Este sistemul de numeraţie utilizat cu precădere în tehnica de calcul digitală. Se bazează pe utilizarea exclusivă a cifrelor 0 şi 1, reprezentarea numerelor mai mari bazându-se pe utilizarea ponderată a puterilor lui 2. Exemplu:

8 (2^3)	4 (2^2)	2 (2^1)	1 (2^0)
1	0	1	1

$= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 = (1011)_2 = 1 \times 8 + 0 \times 4 + 1 \times 2 + 1 \times 1 = (11)_{10}$

Deoarece reprezentarea numerelor mari în sistemul binar ar implica utilizarea unui şir foarte mare de cifre (digits), s-au pus la punct o serie de noi sisteme (baze) de reprezentare. Dintre acestea, cele mai uzuale sunt ***sistemul octal***,

bazat pe utilizarea cifrelor 0, 1, ...7, şi ***sistemul hexazecimal*** care utilizează cifrele de la 0 la 9 iar pentru numerele mai mari decât 9 utilizează simbolurile A, B, C, D, E şi F.

Cantitatea de informatie este o marime care poate fi masurata ca orice alta marime fizica.

$$N=n^m$$

$$I = \log_a N$$

Determinarea bazei *a* a logaritmului are ca punct de plecare *ideea de a defini drept unitate de masura a cantitatii de informatie, denumita* **bit**, *acea informatie care poate fi obtinuta din 2 simboluri (n =2), luate cate unul (m=1).*

In acest caz N = 2 si conform celor spuse : $I = 1 = \log_a 2$. Rezulta a = 2

Asadar, cantitatea de informatie se determina cu ajutorul relatiei:

$$I = \log_2 N \quad \text{sau} \quad I = m \cdot \log_2 n$$

Observatie : daca cele *N* comunicari sunt echiprobabile (au aceeasi probabilitate de a se realiza), atunci probabilitatea *P* de alegere a uneia din cele *N* comunicari este $P = 1/N$.

In consecinta, pe baza relatiei de mai sus se obtine : $I = -\log_2 P$

Deci, **prin cantitatea de informatie se poate intelege o masura a probabilitatii (egale) de determinare a evenimentelor.**

In consecinta, **bitul** se poate defini ca fiind informatia obtinuta prin prezicerea unei variante din doua egal posibile.

1928 – A.V. Hartley introduce notiunea de unitate de informatie

Unitatea elementara de informatie este bitul (binary digit=cifra binara):

$$1 \text{ bit} = -\log_2 (1/2)$$

În general, prin utilizarea unui număr de "n" bits se pot reprezenta 2^n numere distincte. Relativ la poziţia fiecărui bit în cadrul unui număr binar se pot defini noţiunile de:

- **LSB ("Least Significant Bit").** Indică bit-ului aflat la extremitatea dreaptă a numărului binar şi corespunde valorii 2^0;
- **MSB ("Most Significant Bit").** Indică bit-ului aflat la extremitatea stângă a numărului binar şi corespunde valorii 2^n

Pentru a facilita atât scrierea numerelor în sistem binar cât şi transformarea reciprocă în/din sistemele octal şi hexazecimal, se recurge, cel mai adesea, la gruparea bits-ilor. Astfel, în funcţie de numărul de bits grupaţi putem vorbi despre:

- **Nibble -** Grup format din 4 bits;
- **Byte -** Grup format din 8 bits;
- **Simple word -** Grup format din 16 bits;
- **Long word -** Grup format din 32 bits.

Cuvantul = grupul de biti pe care calculatorul ii poate manipula simultan

Pe lângă aceşti termeni, pentru a facilita exprimarea cantităţii de informaţie, se utilizează frecvent multipli ai byte-ului:

1 kilobyte (1kB) = 2^{10} bytes = 1024 bytes;

1 Megabyte (1MB) = 2^{20} bytes = 1024 kbytes;

1 Gigabyte (1GB) = 2^{30} bytes = 1024 Mbytes;

1 Terabyte (1TB) = 2^{40} bytes = 1024 Gbytes.

Concluzii :

- In sistemele mecatronice/automate, informatia este prezenta alaturi de materie si energie

- Din punct de vedere al sistemelor automate, referitor la informatie se pun urmatoarele probleme:

1. *culegerea ;*
2. *prelucrarea ;*
3. *stocarea (transmiterea) ;*
4. *utilizarea in scopul controlului proceselor si sistemelor*

2.7 Semnale

2.7.1 Generalitati

- O marime fizico-tehnica prin care se transmite o informatie, in procesul de functionare a unui sistem sau element, se numeste **semnal**.

Conventional, un sistem sau element excitat la intrare de semnalul **u(t),** la iesirea caruia apare semnalul **y(t)** , se reprezinta din punct de vedere al transferului de informatie ca in fig. 2.6



Fig.2.6

OBSERVATII

- Caracteristica fizica care se modifica dependent de informatie, se numeste **parametru informational** (ex.)

- Concomitent, semnalele sunt **functii de timp**. Acesta este al doilea parametru al semnalelor.

- Intre elementele componente ale unui sistem apar **relatii** prin **intermediul semnalelor**.

- La transmiterea unei informatii este necesar un **semnal** si un **cod** comun pentru ambele sisteme : emitator si receptor

2.7.2 Tipuri de semnale

Conceptual, *notiunile de sistem si semnal sunt duale*.

Clasificarea semnalelor se face in conformitate cu foarte multe **criterii**

a) dupa **efectele** produse asupra unui sistem :

- *semnale utile*
- *semnale perturbatoare (perturbatii)*

b)dupa **natura marimilor fizice** :

- *semnale mecanice*
- *semnale electrice*
- *semnale pneumatice*
- *semnale acustice, optice, hidraulice*, etc

c) dupa **multimea de valori ale parametrului informational** :

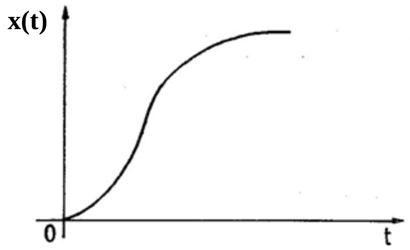


Fig.2.7a

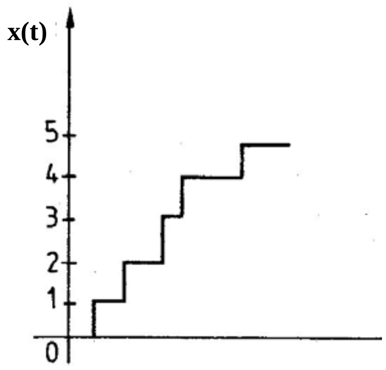


Fig.2.7b

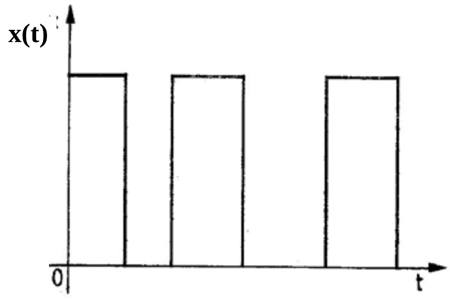


Fig.2.7c

Se numeste **semnal continuu** o functie f : T → A, unde A este o multime data numita imaginea (sau multimea de valori) a semnalului iar T este axa (sau domeniul de definitie)al semnalului.

Daca T ⊂ R (multime “continua"), atunci *u* este un semnal continuu; in cazul in care T ⊂Z (multime “discreta") atunci *u* este un semnal discret.

- ***semnale analogice*** : parametrul informational ia valori pe multimi incluse in multimea numerelor reale.

$$\mathbf{x : t \rightarrow x(t)} \qquad (1)$$

Semnalul poate lua orice valoare din intervalul fixat (fig. 2.7a)

Semnal continuu analogic: $x : R \rightarrow R \qquad \forall t \in R; \exists x(t) \in R$

Un semnal continuu care ia valori continue se numeste semnal analogic

Semnal continuu cuantificat: $x : R \rightarrow Z \qquad \forall t \in R; \exists x_q(t) \in R$

Un semnal continuu care poate lua un numar finit de valori distincte se numeste semnal cuantificat

- ***semnale discrete***: parametrul informational ia valori pe multimi incluse in multimea numerelor reale si intregi. Aceste semnale sunt descrise de functii:

$$\mathbf{x : k \rightarrow x(k)} \qquad (2)$$

sau

$$\mathbf{x : t = kT_e \rightarrow x(kT_e)}$$

(3)

unde k este un nr.intreg (pozitiv sau negativ), iar T_e ia valori discrete T_1, T_2,…

-semnalele discrete **digitale** (fig. 2.7 b).

-semnalele discrete **binare** (fig.2.7c)

Semnal discret esantionat: $x : Z \rightarrow R \qquad \forall k \in Z; \exists x(kT_e) \in R$

Un semnal discret care ia valori continue se numeste semnal esantionat

Semnal discret numeric: $x : Z \rightarrow Z \qquad \forall k \in Z; \exists x_q(kT_e) \in Z$

Un semnal discret care ia valori cuantificate se numeste semnal numeric.

2.7.2 Tipuri de semnale (continuare)

d) dupa multimea de valori ale **parametrului timp *t*** (variabila independenta)

- ***semnale continue (in timp)***- pentru fiecare valoare a timpului se defineste o valoare oarecare a parametrului informational

- ***semnale discrete (in timp) esantionate si numerice***– parametrul informational este definit numai pentru anumite valori admisibile ale timpului

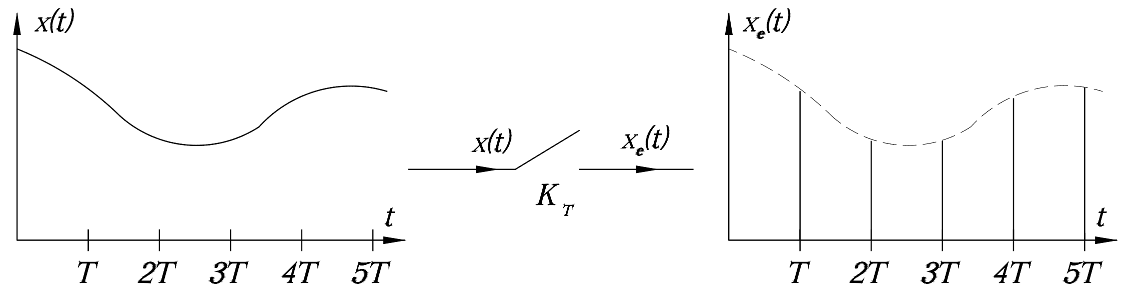


Fig.2.8

e) dupa **previzibilitatea evolutiei in timp**:

-semnale deterministe

-semnale stohastice (aleatorii)

In analiza, sinteza, functionarea si conducerea sistemelor mecatronice se intalnesc toate tipurile de semnale mentionate mai sus.

2.7.3 Semnale de proba (standard)

- **structura algebrica** (spatii vectoriale) ;
- **structura topologica** (spatii Banach-spatii vectoriale normate si complete) ;
- **structura geometrica** (spatii Hilbert- spatii vectoriale normate, complete cu norma definita de un produs scalar)

1. Semnalul treapta unitara *σ(t)*

Semnalul treapta unitara *σ(t)* sau semnalul Heaviside este definit de relatia :

$$1(t)=\sigma(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases} \tag{4}$$

Graficul :

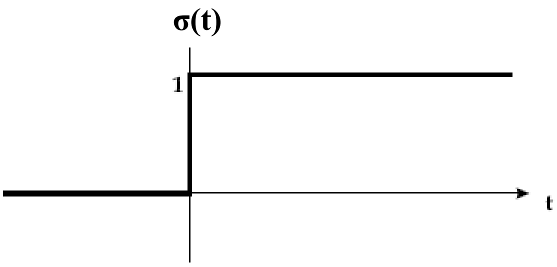


Fig.2.9-Treapta unitara

$\sigma(t)$ nu este definita pentru t = 0 ; $\sigma(0_+) = 1$ si $\sigma(0_-) = 0$.

Un semnal treapta de amplitudine A : **A· σ(t)** constituie o **treapta neunitara**.

Functia treapta unitara reala $\sigma_\varepsilon(t)$ este definita de relatia si are graficul :

$$(5)\quad \sigma_\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & t < -\frac{\varepsilon}{2} \\ \frac{1}{\varepsilon}(t+\frac{\varepsilon}{2}) & -\frac{\varepsilon}{2} < t < \frac{\varepsilon}{2} \\ 1 & t > \frac{\varepsilon}{2} \end{cases}$$

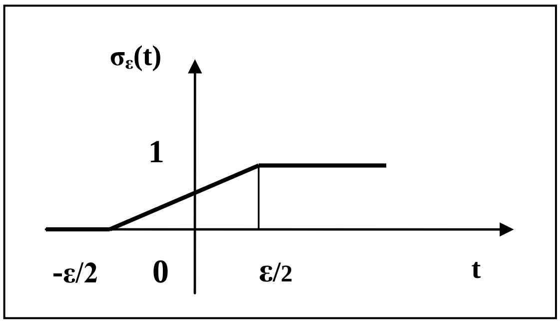


Fig.2.10

Raspunsul sistemului la u(t) = 1(t) aplicat la intrarea unui sistem liniar, continuu si stationar (SLCS) in momentul t = 0, se numeste **functie indiciala sau raspuns indicial**. Se noteaza cu g(t).

Deci : **u(t) = 1(t)** $\Rightarrow$ $y(t)_{[u(t)=1(t)]} = g(t)$

Pentru : **u(t) = 1(t-τ) =** $\begin{cases} 0 & t < \tau \\ 1 & t > \tau \end{cases}$ $\Rightarrow$ $y(t)_{[u(t)=1(t-\tau)]} = g(t-\tau)$

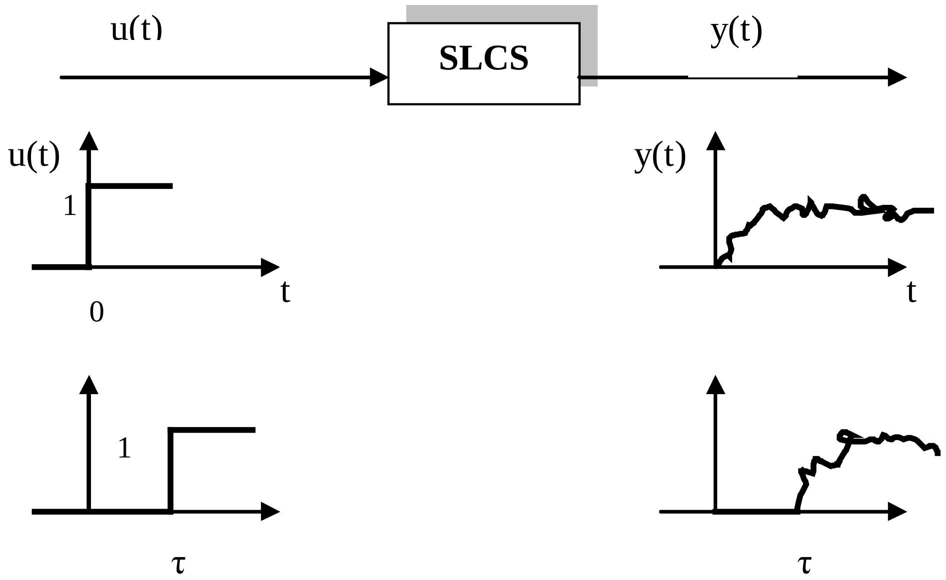


Fig.2.11

Observatii :

1. Forma raspunsului **nu** depinde de momentul aplicarii semnalului de intrare (valabil si pentru treapta neunitara).
2. In cazul unui sistem liniar, continuu si nestationar SLCN, functia indiciala **depinde** de momentul aplicarii semnalului de intrare.

Raspunsurile obtinute la asemenea semnale permit **precizarea unor performante** ale sistemelor respective (fig.2.12) definite pe baza raspunsului indicial.

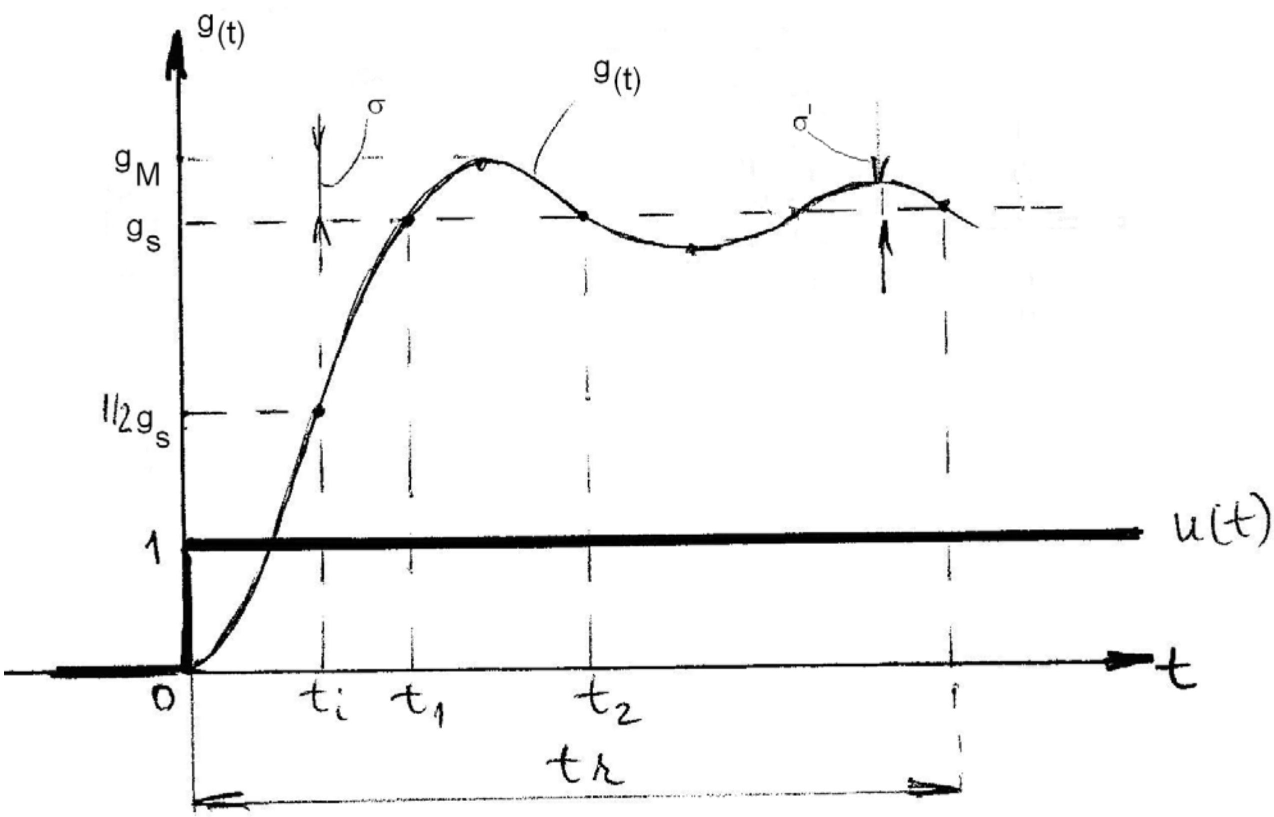


Fig.2.12

- **g(s) –valoarea stationara**, amplificare in regim stationar
- **suprareglarea**: $\sigma\% = \frac{g_M - g_s}{g_s} \cdot 100\%$ trebuie ca $\sigma \leq \sigma_{impus}$
- **grad de amortizare**: $\rho\% = \frac{\sigma - \sigma'}{\sigma} \cdot 100\%$ trebuie ca $\rho \geq \rho_{impus}$
- **timpi de stabilire** t_1, t_2
- **timp de intarziere** t_i caracterizeaza intervalul (0-1/2g_s)
- **timp de crestere** t_c caracterizeaza intervalul (0.05-0.95)g_s
- **timp de raspuns** t_r pentru gradul minim de amortizare

Observatii

1.In cazul SLCS aceste performante raman neschimbate, in timp ce la SLCN acestea se pot modifica.

2.Forma functiei g(t) depinde **numai** de structura interna a sistemului. Deci rasunsul indicial este util pentru identificarea structurilor.

2.Semnalul impuls unitar (Dirac)

Derivarea functiei $\sigma_\varepsilon(t) \rightarrow \delta_\varepsilon(t)$ care este un impuls dreptunghiular de amplitudine $1/\varepsilon$ si durata ε (in intervalul $[-\varepsilon/2$ si $\varepsilon/2]$, conform figurii 2.11a

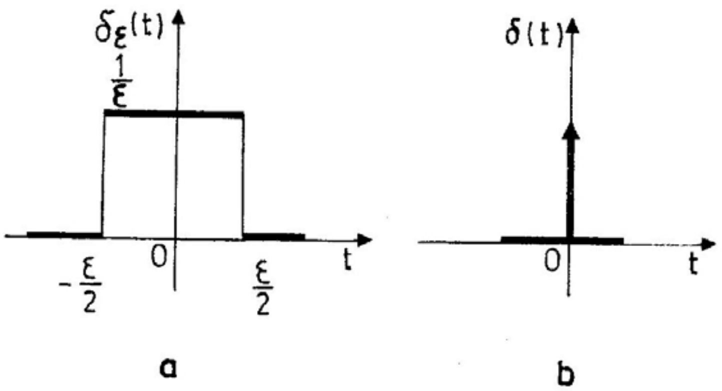


Fig.2.11

$$\delta_\varepsilon(t) = \begin{cases} 0 & t < -\dfrac{\varepsilon}{2} \\ \dfrac{1}{\varepsilon} & -\dfrac{\varepsilon}{2} < t < \dfrac{\varepsilon}{2} \\ 0 & t > \dfrac{\varepsilon}{2} \end{cases} \qquad (6)$$

Observatii :

1.Se observa ca aria inchisa de functia $\delta_\varepsilon(t)$ este egala cu ***1*** independent de valoarea lui ε, adica :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta_\varepsilon(t)dt = 1 \qquad t \in R \qquad (7)$$

2. La limita,

$$\text{cand } \varepsilon \rightarrow 0, \text{ functia } \sigma_\varepsilon(t) \rightarrow \lim_{\varepsilon \to 0} \sigma_\varepsilon(t) \qquad (8)$$

3. Derivata functiei $\sigma_\varepsilon(t)$, la limita, cand $\varepsilon \rightarrow 0$, devine :

$$\boxed{\lim_{\varepsilon \to 0} \dot{\sigma}_\varepsilon(t) = \delta_\varepsilon(t)} \qquad (9)$$

Acesta se numeste **semnal impuls, unitar sau Dirac** (sau distributia delta)

Proprietati

1. Impulsul unitar $\delta_\varepsilon(t)$ este o functie para (vezi fig. 2.11a)

$$\delta(t) = \delta(-t) \quad (11)$$

2. Valorile acestui semnal sunt :

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & t \neq 0 \\ \infty & t = 0 \end{cases} \quad (12)$$

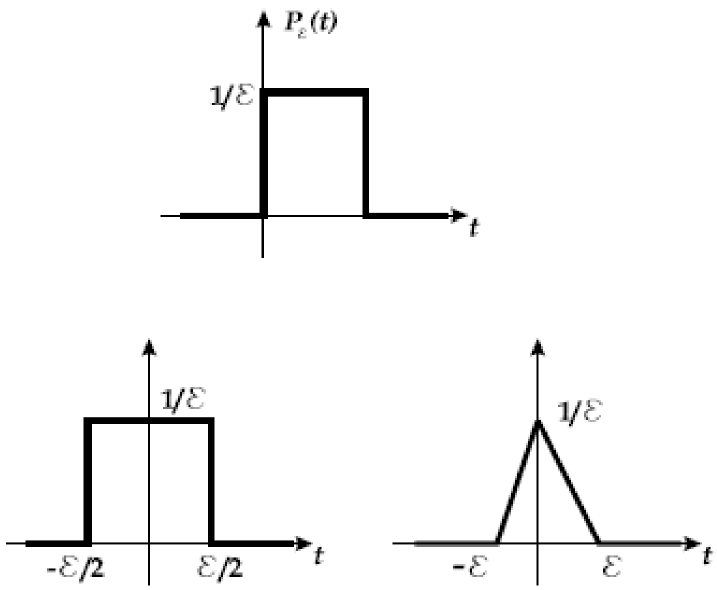
iar reprezentarea conventionala este data in figura 2.11b.

3. Acest semnal nu se poate realiza practic, deoarece necesita in acest scop un generator de semnal de putere infinita.
4. O alta definitie a acestui semnal, in sensul teoriei distributiilor, transforma relatia (12) in :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t)dt = \int_{-0}^{0} \delta(t)dt = 1 \quad (13)$$

5. Impulsul Dirac este derivata, in sensul teoriei distributiilor, a semnalului treapta unitate.

Nu conteaza forma si valorile pe care le ia o aproximatie oarecare a lui δ, ci efectul actiunii acesteia, adica faptul ca $\int_R = 1$.



In practica se foloseste **semnalul dreptunghiular** cu durata **Δ** si amplitudine **A**, cand $\Delta \to 0$ si $A \to \infty$. Aria limitata de acest impuls =1 (fig.2.12)

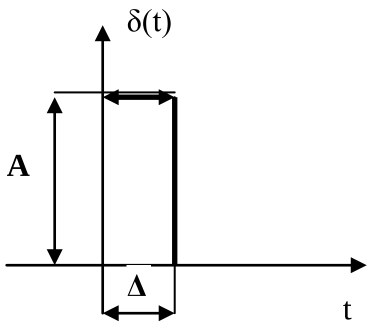


Fig. 2.12

Semnalul impuls Dirac se utilizeaza frecvent in analiza comportarii elementelor si sistemelor automate.

Raspunsul sistemului la aplicarea unui impuls Dirac poarta denumirea de functie pondere si este o caracteristica dinamica a unui proces liniar constant. Se noteaza cu h(t), fig.2.13

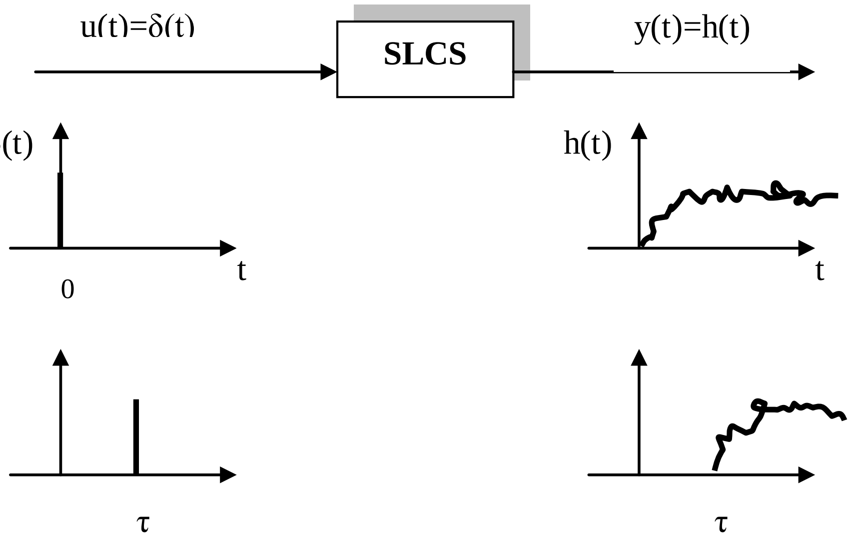


Fig.2.13

Se poate scrie deci :

u(t) = δ(t) ⇒ $$y(t)_{[u(t)=\delta(t)]} = h(t)$$

si **u(t) = δ(t-τ)** ⇒ $$y(t)_{[u(t)=\delta(t-\tau)]} = h(t-\tau)$$

Observatii :

1.Functia pondere nu se modifica daca este aplicata la intrarea unui sistem SLCS in momente diferite.

2.La SLCN, functia pondere depinde de momentul aplicarii semnalului.

3. Functia pondere nu poate fi obtinuta experimental, decat in mod cu totul aproximativ, aceasta deoarece insusi semnalul impuls nu poate fi realizat practic.

4. Teoretic, functia pondere se obtine ca solutie a ecuatiei diferentiale omogene a sistemului respectiv pentru conditiile initiale:

$$y(0) = \dot{y}(0) = \ldots = \overset{(n-2)}{y}(0) = 0 \qquad \text{si} \qquad \overset{(n-1)}{y}(0) = 1$$

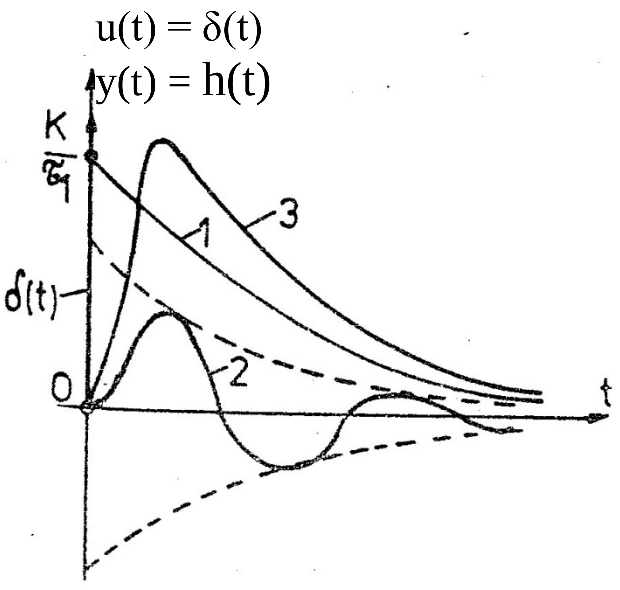


Fig.2.14

Curba 1- functia pondere h(t) = $\frac{k}{\tau_1} \cdot e^{-t/\tau_1}$ a unui sistem descris de ecuatia diferentiala: $\tau_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot u(t)$

Curba 2- functia pondere a unui sistem descris de ecuatia diferentiala:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2\xi\omega_n \frac{dy(t)}{dt} + \omega_n^2 y(t) = k\omega_n^2 u(t) \qquad 0 < \xi < 1$$

Curba 3- functia pondere a unui sistem de ordin superior a carui ecuatie caracteristica are toate radacinile reale si negative.

- **Importanta impulsului unitar**

3.Semnalul rampa

$$r(t) = ramp(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t \geq 0 \end{cases}$$

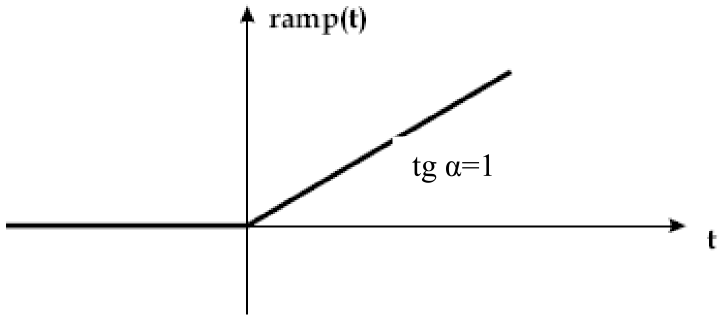


Fig. 2.15

Semnalul rampa exprima viteza de variatie a marimii considerate, adesea aceasta fiind diferita de unitate **: u(t) = α· ramp(t).**

Raspunsul unui sistem la acest semnal de proba se numeste **raspuns la viteza**.

4. Semnal periodic, sinusoidal sau cosinusoidal

Sunt semnale periodice de tip armonic.

$$u(t) = A\cos(\omega t + \Phi)$$

unde : **A** – amplitudinea ;

ω – pulsatie ; $\omega = 2\pi f = 2\pi/T$

unde **f** este frecventa semnalului $f \in R_+$

iar **T** este perioada acestuia $T \in R_+$

Φ – faza(defazajul)

Reprezentarea **complexa** a semnalelor armonice ($a \in C$) este de asemenea folosita, semnalul astfel descris fiind mai usor de manipulat:

$$u(t) = ae^{j\omega t} = Ae^{j\Phi}e^{j\omega t} = A\cos(\omega t + \Phi) + jA\sin(\omega t + \Phi)$$

Raspunsul unui element sau sistem la intrarea caruia se aplica un semnal armonic se numeste raspuns la frecventa

3.Metode si tehnici de calcul

- metode in domeniul timpului
- metode operationale

3.1 Tehnici de calcul in domeniul timpului

Rezolvarea sistemelor:

- Determinarea solutiei generale a ecuatiilor omogene ;
- Determinarea unei solutii particulare a sistemelor omogene;
- Determinarea constantelor din solutia generala, pe baza conditiilor initiale.

- Semnal = succesiune de semnale standard

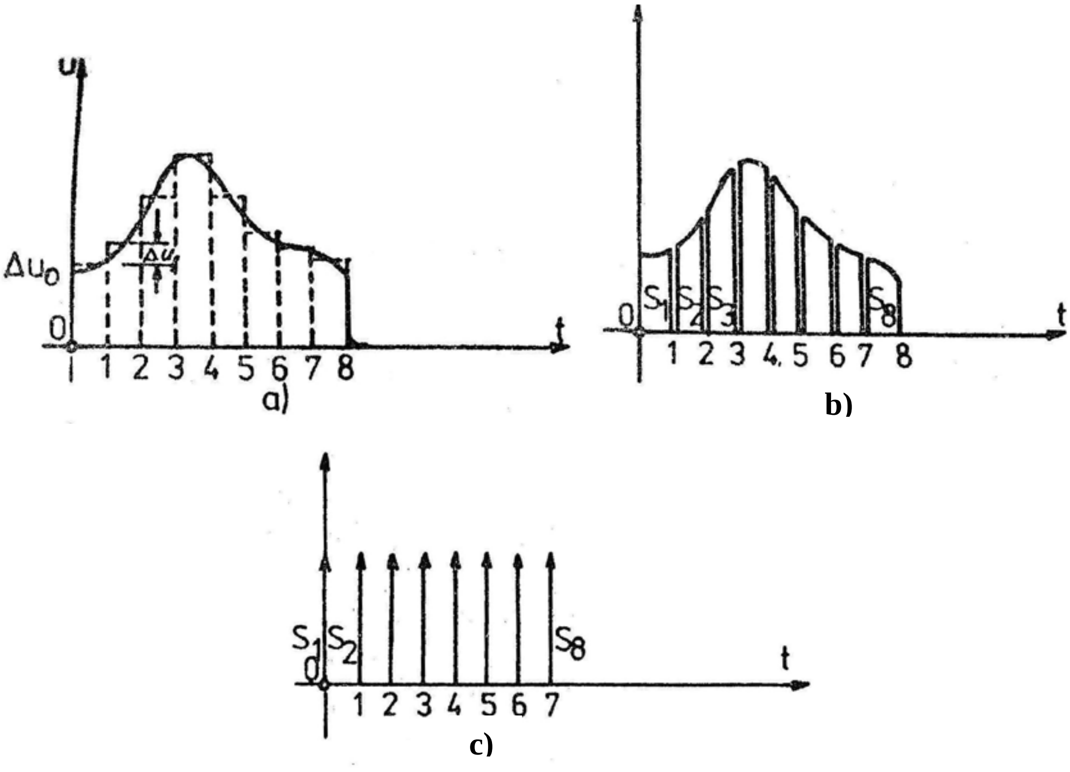
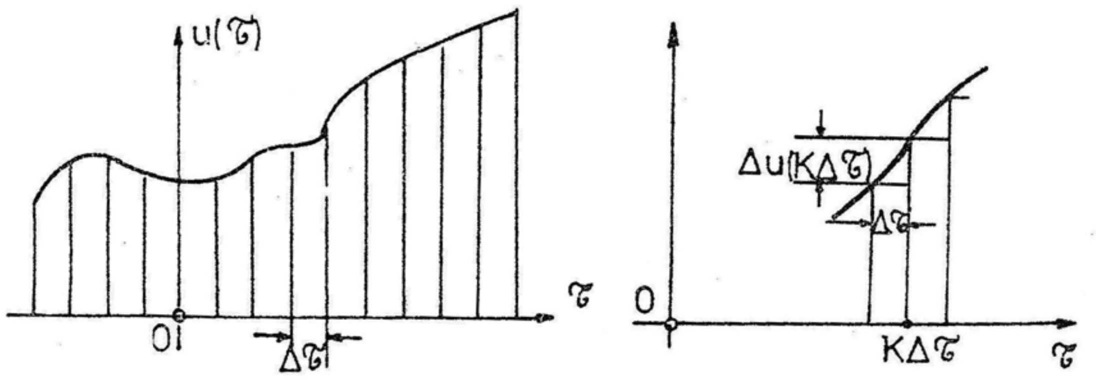


Fig.3.1

$$\mathbf{u(t)} \approx \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} \Delta u(k \cdot T) \cdot 1(t - k \cdot T)$$ pt. fig.3.1b

$$\mathbf{u(t)} \approx \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} S(k \cdot T) \cdot \delta(t - k \cdot T)$$ pt.fig. 3.1c

Sa consideram o functie oarecare (fig. 3.2) :



a b

Fig. 3.2

In cazul aproximarii cu o **succesiune de semnale treapta** se poate scrie :

$$u(t) \approx \sum_{k=-\infty}^{k=+\infty} \Delta u(k \cdot \Delta\tau) \cdot 1(t - k \cdot \Delta\tau) \quad (1)$$

Variatia semnalului de intrare *u* se prezinta sub forma :

$$du = \frac{du(\tau)}{d\tau} \qquad \text{sau} \qquad du = \frac{du(\tau)}{d\tau} \cdot \sigma(t-\tau)$$

unde $\sigma(t\text{-}\tau)$ este semnalul treapta la momentul $(t\text{-}\tau)$.

Utilizand principiul suprapunerii efectelor, se scrie ca :

$$\boldsymbol{u(t)} = u(0) \cdot \sigma(t) + \int_0^t \left(\frac{du}{dt}\right)_{t=\tau} \cdot \sigma(t-\tau) d\tau \quad (2)$$

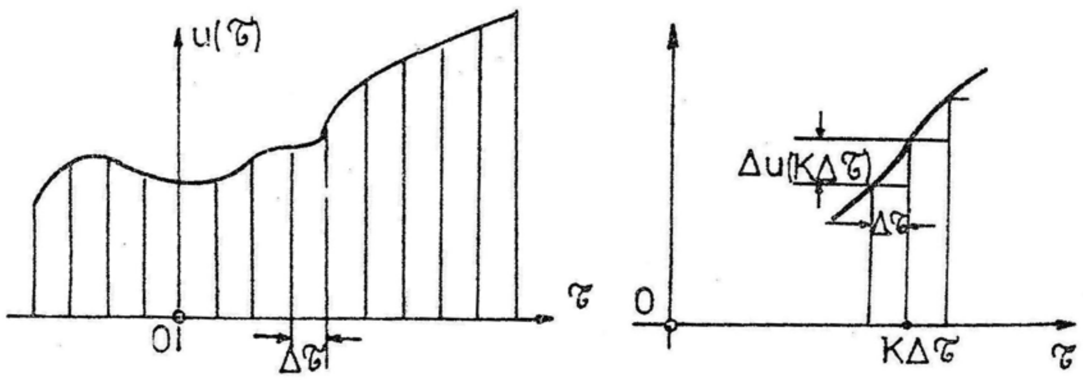
unde *u(0)* este valoarea lui *u* la momentul *t = 0*

Raspunsul sistemului:

$$\boldsymbol{y(t)} = u(0) \cdot g(t) + \int_0^t \left(\frac{du}{dt}\right)_{t=\tau} \cdot g(t-\tau) d\tau \quad (3)$$

- Daca aproximarea semnalului se face **printr-o succesiune de impulsuri**, atunci, stiind ca suprafata care incepe in momentul $\tau = k\cdot\Delta\tau$ este $u(k\cdot\Delta\tau)\cdot\Delta\tau$ se obtine :

$$u(t) \approx \sum_{k=-\infty}^{\infty} u(k\cdot\Delta\tau)\cdot\Delta\tau\cdot\delta(t-k\cdot\Delta\tau) \qquad (4)$$



Cand $\Delta\tau \rightarrow 0$, aproximarea devine precisa, si suma de mai sus devine integrala :

$$u(t) = \int_{-\infty}^{\infty} u(\tau)\cdot\delta(t-\tau)d\tau \qquad (5)$$

Daca se cunoaste raspunsul **h(t)** al sistemului la semnalul impuls unitar **δ(t),** atunci, pentru conditii initiale nule, semnalul de iesire se poate stabili utilizand **produsul de convolutie**

$$y(t) = \int_{0}^{t} h(t-\tau)\cdot u(\tau)d\tau \qquad (6)$$

sau, facand schimbarea de variabila $t\text{-}\tau = \lambda$, relatia de mai sus devine :

$$y(t) = \int_0^t h(\lambda)\cdot u(t-\lambda)d\tau \qquad (7)$$

unde u(t) si y(t) sunt semnalul de intrare, respectiv de iesire in momentul *t*, iar u(t-λ) este semnalul de intrare deplasat cu λ in devans fata de momentul considerat *t*.

Rezulta ca, odata cu cresterea lui λ de la *0* la *t*, semnalul *u(t-λ)* se deplaseaza in devans fata de momentul *t* ajungand pana in originea timpului : pentru λ = 0 se obtine u(t- λ) =u(t), iar pentru λ =t se obtine u(t- λ) = u(0).

Conform relatiei de mai sus, rezulta deci ca valoarea raspunsului unui sistem liniar, continuu si stationar SLCS in momentul *t* este determinata de toata evolutia anterioara a semnalului de intrare *u(t)*.

Raspunsul unui SLCS se poate afla prin convolutia semnalului de excitatie si a functiei pondere.

Convolutia (produsul de convolutie) stabileste o relatie intre semnalul de intrare si cel de iesire prin intermediul functiei pondere, care descrie sintetic sistemul dinamic respectiv.

In general, produsul de convolutie a doua semnale continue u(t) si h(t) are forma :

$$(u*h)(t)=\int_{-\infty}^{\infty}u(t-\tau)\cdot h(\tau)d\tau,$$

t fiind numar real

Observatii:

a. ***Erori de trunchiere*** *[semnale continue/discrete]*

b. ***Erori de esantionare*** *[semnale continue]*

c. ***Erori de rotunjire*** *[semnale continue/discrete]*

Importanta practica

-Daca este cunoscuta functia pondere a unui SLCS, cu ajutorul produsului de convolutie se poate afla raspunsul acestui sistem la orice semnal de intrare.

- Problema se reduce deci la a cunoaste *u(t)*.

- Functia pondere a unui sistem dinamic se obtine ca solutie a ecuatiei diferentiale omogene a sistemului respectiv pentru conditiile initiale.

Demonstratie : se utilizeaza integrala de convolutie pentru a determina raspunsul indicial al SLCS la un semnal treapta unitate 1(t).

Deci, se cunoaste ca y(t) = g(t) cand u(t) = 1(t)

Rezulta ca : $g(t) = \int_0^t 1(t-\tau)\cdot h(\tau)d\tau = \int_0^t h(\tau)d\tau$,

aceasta deoarece in tot domeniul $0 \le \tau \le t$ avem $1(t-\tau) = 1$

Deci, raspunsul indicial este egal cu integrala functiei pondere.

Exemplu. Fie un sistem caracterizat de ecuatia diferentiala

$$\tau_1 \cdot \dot{y} + y = k \cdot u(t),$$

a carui functie pondere este $h(t) = \frac{k}{\tau_1}\cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}}$

Se cere sa se determine raspunsul normal al sistemului, y(t), cand semnalul de intrare variaza in treapta.

Rezolvare : Deci, $u(t) = u_0 \cdot 1(t)$ u_0 = constant.

Integrala de convolutie este :

$$y(t)= \int_0^t u(\tau)\cdot h(t-\tau)d\tau = \int_0^t u_0 \cdot \frac{k}{\tau_1}\cdot e^{-\frac{t-\tau}{\tau_1}} \cdot d\tau = \frac{k\cdot u_0}{\tau_1}\cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} \int_0^t e^{\frac{\tau}{\tau_1}} \cdot d\tau$$

sau

$$y(t) = \frac{k\cdot u_0}{\tau_1}\cdot e^{-\frac{t}{\tau_1}} \cdot \tau_1 \cdot (e^{\frac{t}{\tau_1}} - 1) = k\cdot u_0 \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}})$$

Un asemenea raspuns exponential este reprezentat in figura 3.3

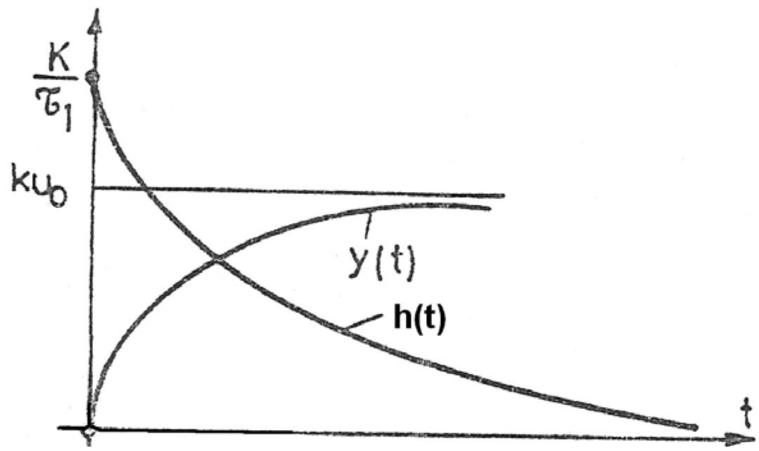


Fig.3.3

3.2 Tehnici de calcul bazate pe metoda frecventiala

1. Serii Fourier (Jean-Baptiste Joseph Fourier, 1768-1830)

Se demonstreaza ca **orice functie periodica** f(t):

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \cdot e^{j \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} \quad (1)$$

in care

$$c_k = \frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cdot e^{-j \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} dt \quad (2)$$

$\boldsymbol{\omega_0}$ si **T** sunt pulsatia functiei periodice f(t), respectiv perioada ei.

Relatia (1) poarta denumirea de **serie complexa Fourier**.

Se pune intrebarea : la ce serveste in TS ?

- permite determinarea raspunsului fortat al unui SLCS provocat de un semnal periodic oarecare.

Exemplu : Fie un sistem descris de ecuatia diferentiala :

$$a_n \cdot \overset{n}{y} + a_{n-1} \cdot \overset{n-1}{y} + \ldots\ldots + a_1 \cdot \dot{y} + a_0 \cdot y = b_m \cdot \overset{m}{u} + b_{m-1} \cdot \overset{m-1}{u} + \ldots\ldots + b_1 \cdot \dot{u} + b_0 \cdot u$$

Se poate obtine **raspunsul fortat** al acestui sistem provocat de semnalul periodic u(t).

Rezolvare Sub forma seriei complexe Fourier, u(t) devine :

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} u_k \cdot e^{j \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t}$$

Rezulta ca raspunsul lui fortat y(t) va fi si el o functie periodica de aceeasi pulsatie ω_0, respectiv perioada T, ca si u(t), adica :

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} y_k \cdot e^{j \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t}$$

Rezulta coeficientii y_k dati de relatia :

$$y_k = \frac{\sum_{i=0}^{m} b_i \cdot (j \cdot k \cdot \omega_0)^i}{\sum_{i=0}^{n} a_i \cdot (j \cdot k \cdot \omega_0)^i} \cdot u_k$$

2.Transformata Fourier

Fie **o functie oarecare *f(t)***, fig. 3.4.

Sa consideram in figura 3.5 o functie periodica $\widetilde{f(t)}$

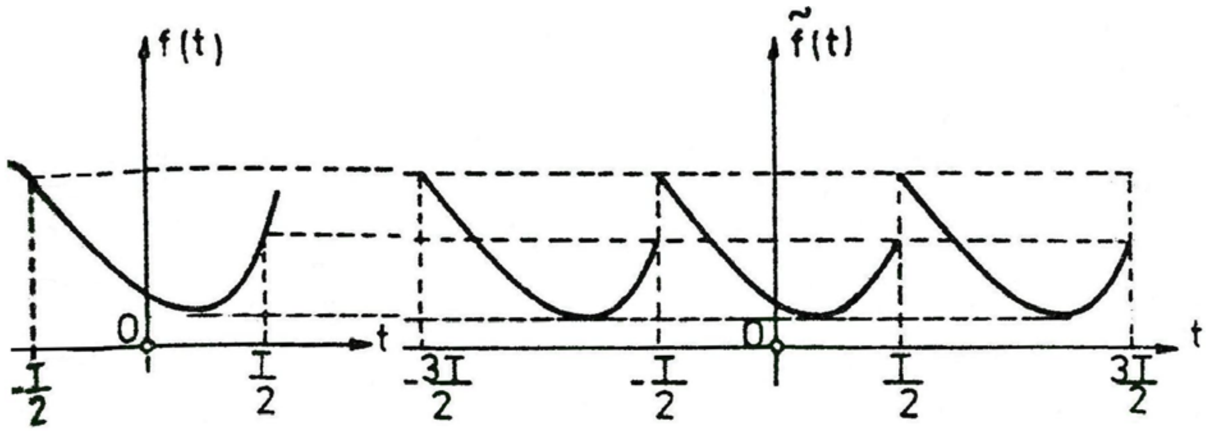


Fig.3.4 *Fig.3.5*

Functia $\widetilde{f(t)}$ se poate descompune in serie complexa Fourier.

$$\widetilde{f(t)} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \cdot e^{j \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} \tag{3}$$

unde c_k este dat de relatia (2) $c_k = \frac{1}{T} \cdot \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cdot e^{-j \cdot k \cdot \omega_0 \cdot t} dt$

Se demonstreaza ca : $T \rightarrow \infty$, se obtine $\widetilde{f(t)} = f(t)$ pentru orice t real.

Spectrul de frecvente care la seria Fourier era un spectru discret, devine acum un spectru continuu continand toata gama de frecvente.

Se scrie ca :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega \tag{4}$$

si $$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \qquad (5)$$

Transformata Fourier (spectrul frecvential al unei functii) se noteaza :

$$F(j\omega) = \mathcal{F}[f(t)] \qquad (6)$$

Transformata Fourier inversa :

$$f(t) = \mathcal{F}^{-1}[F(j\omega)] \qquad (7)$$

Transformata Fourier exista numai in cazul in cazul functiilor continue de timp in orice *t* si care satisfac in plus conditia :

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(t)| dt < \infty$$

e^{at} cu $a>0$ si ***tg ωt*** - nu admit transformata Fourier.

Din cele de mai sus, rezulta ca, dupa cum o functie periodica oarecare se poate descompune in seria Fourier si are un spectru de frecvente discret (ω_0, 2 ω_0, 3ω_0…..), tot astfel o functie de timp oarecare, neperiodica, este echivalenta cu integrala Fourier si are un spectru de frecventa continuu, continand in general toate frecventele posibile.

Exemplul 1

Fie f(t) = 1(t) functia treapta unitara

Atunci $$\mathcal{F}[f(t)] = \mathcal{F}[1(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} 1(t) \cdot e^{-j\omega t} dt = \int_{0}^{\infty} e^{-j\omega t} dt = -\frac{1}{j\omega} \cdot e^{-j\omega t}\Big|_{0}^{\infty} = \frac{1}{j\omega}$$

Exemplul 2

Sa se determine transformata Fourier a functiei **f(t)=1/2τ**, din fig. 3.6a

$$\mathcal{F}\,[f(t)] = F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\cdot e^{-j\omega t}dt = \int_{-\tau}^{\tau}\frac{1}{2\cdot\tau}\cdot e^{-j\omega t}dt = \frac{\cos(\omega\cdot\tau)}{\omega\cdot\tau}$$

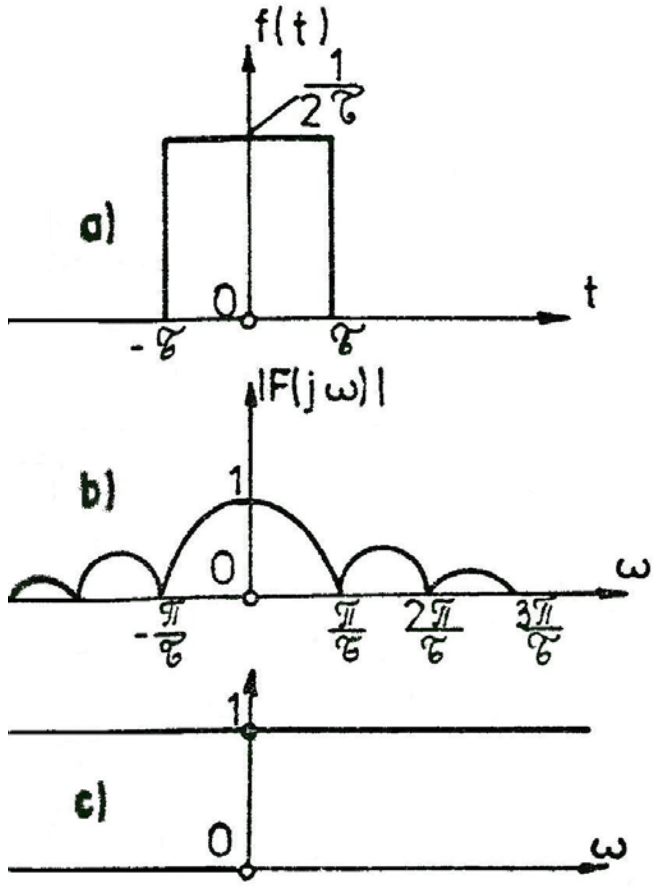


Fig.3.6

F(jω) este o functie reala. Aceasta se datoreaza faptului ca f(t) este o functie para.

Reprezentarea grafica a functiei F (jω) este data in figura 3.6b.

Daca **τ → 0**, atunci semnalul din figura 3.6a devine un impuls Dirac, $\partial(t)$.

In acest caz, $\cos(\omega\cdot\tau)$ **= ω · τ** si deci **F(jω) =1.**

Rezulta deci ca spectrul de frecventa al impulsului unitar este constant si egal cu 1 (fig.3.6c).

Acest exemplu pune in evidenta corelatia care exista intre durata unui semnal si spectrul de frecventa corespunzator. Cu cat semnalul respectiv dureaza mai putin, cu atat spectrul sau de frecventa este mai larg, deci pentru reproducerea lui este necesara o banda de frecvente tot mai larga.

Importanta transformatei Fourier

- sta la baza metodei frecventiale de studiu a SLCS
  - -raspuns fortat
  - -factor de amplificare complex

De exemplu, ecuatia

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2}+2\xi\omega_n\frac{dy(t)}{dt}+\omega_n^2y(t)=k\omega_n^2u(t) \qquad 0<\xi<1$$

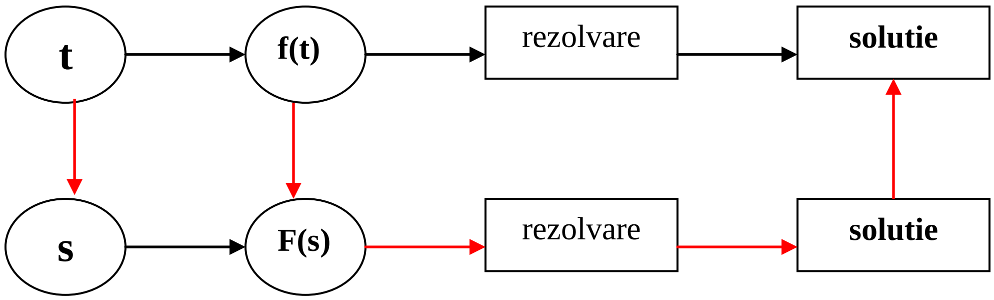
are **factorul de amplificare complex** urmatorul :

$$H(j\omega)=\frac{y(j\omega)}{u(j\omega)}=\frac{k\cdot\omega_n^2}{(j\omega)^2+2\xi\omega_n j\omega+\omega_n^2}=\frac{k\cdot\omega_n^2}{\omega_n^2-\omega^2+j2\xi\omega_n\omega}$$

3.3 Tehnici de calcul bazate pe transformata Laplace

a. Transformata Laplace (Pierre Simon Laplace 1749-1827)

f(t) de variabila reala ***t*** → ***F(s),*** de variabila complexa $s = \sigma + j\omega$



Transformata Laplace bilaterala a unei functii f(t) de variabila reala timp :

$$\mathcal{L}[f(t)] = F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\cdot e^{-st}dt \qquad (1)$$

si, dupa cum se constata, ea se obtine formal inlocuind in transformata Fourier

$F(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)\cdot e^{-j\omega t}dt$ variabila imaginara $j\omega$ cu variabila $s = \sigma + j\omega$.

Daca rel. transformatei Fourier inverse, $f(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega)\cdot e^{j\omega t}d\omega$ se scrie sub forma urmatoare:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{-j\omega}^{+j\omega} F(j\omega)\cdot e^{j\omega t}d(j\omega) \qquad (2)$$

si apoi se inlocuieste $j\omega$ cu s, se obtine :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi j}\int_{-s}^{s} F(s)\cdot e^{st}ds = \mathcal{L}^{-1}[F(s)] \qquad (3)$$

Relatia (3) defineste **transformata Laplace inversa**.

Transformata Laplace obisnuita este utilizata in TS si sub urmatoarea forma :

$$\mathcal{L}\,[\mathrm{f(t)}] = \mathrm{F(s)} = \int_0^\infty f(t)\cdot e^{-st}dt = \int_0^\infty f(t)\cdot e^{-\sigma t}\cdot e^{-j\omega t}dt \qquad (4)$$

Tinand cont de formula lui Euler : $e^{-j\omega t} = \cos(\omega t) - j\sin(\omega t)$, rel. (4) devine :

$$\mathcal{L}\,[\mathrm{f(t)}] = \int_0^\infty \mathrm{f(t)}\cdot \mathrm{e}^{-\sigma t}\cdot\cos(\omega t)dt - j\int_0^\infty \mathrm{f(t)}\cdot \mathrm{e}^{-\sigma t}\cdot\sin(\omega t)dt \qquad (5)$$

Proprietati ale transformatei Laplace

-teorema liniaritatii : $\mathcal{L}\,[k_1\cdot f(t) + k_2\cdot g(t)] = k_1\cdot F(s) + k_2\cdot G(s)$

-teorema intarzierii : $\mathcal{L}\,[f(t-\tau)] = e^{-s\tau}\cdot F(s)$

-teorema derivarii originalului :

$$\mathcal{L}\left[\frac{df(t)}{dt}\right] = s\cdot F(s) - f(0)$$

$$\mathcal{L}\left[\frac{d^2f(t)}{dt^2}\right] = s^2\cdot F(s) - s\cdot f(0) - f'(0)$$

$$\mathcal{L}\left[\frac{d^nf(t)}{dt^n}\right] = s^n\cdot F(s)$$

-teorema integrarii originalului :

$$\mathcal{L}\left[\int_0^t f(t)dt\right] = \frac{1}{s}\cdot F(s)$$

b. Functia de transfer

Fie un SLCS descris de ecuatia diferentiala :

$$a_n \cdot \overset{n}{y} + a_{n-1} \cdot \overset{n-1}{y} + \ldots\ldots + a_1 \cdot \dot{y} + a_0 \cdot y = b_m \cdot \overset{m}{u} + b_{m-1} \cdot \overset{m-1}{u} + \ldots\ldots + b_1 \cdot \dot{u} + b_0 \cdot u \quad (6)$$

in care **m ≤ n**.

Operand transformata Laplace:

$$a_n \cdot L(\overset{n}{y}) + a_{n-1} \cdot L(\overset{n-1}{y}) + \ldots\ldots + a_1 \cdot L(\dot{y}) + a_0 \cdot L(y) = b_m \cdot L(\overset{m}{u}) + b_{m-1} \cdot L(\overset{m-1}{u}) + \ldots\ldots + b_1 \cdot L(\dot{u}) + b_0 \cdot L(u)$$

$$a_n \cdot s^n \cdot Y(s) + a_{n-1} \cdot s^{n-1} \cdot Y(s) + \ldots\ldots + a_1 \cdot s \cdot Y(s) + a_0 \cdot Y(s) =$$
$$= b_m \cdot s^m \cdot U(s) + b_{m-1} \cdot s^{m-1} \cdot U(s) + \ldots\ldots + b_1 \cdot s \cdot U(s) + b_0 \cdot U(s)$$

Rezulta :

$$\underbrace{(a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \ldots\ldots + a_1 \cdot s + a_0)}_{P(s)} \cdot Y(s) = \underbrace{(b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \ldots\ldots + b_1 \cdot s + b_0)}_{Q(s)} \cdot U(s) \quad (7)$$

Polinoamele in ***s*** sunt notate cu **P(s)** si **Q(s)**, deci avem :

P(s)·Y(s) = Q(s)· U(s)

Din aceasta relatie, expresia operationala a marimii de iesire este :

$$Y(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} \cdot U(s) \quad \Rightarrow \quad y(t) = \mathcal{L}^{-1}[Y(s)] = \mathcal{L}^{-1}\left[\frac{Q(s)}{P(s)} \cdot U(s)\right] \quad (8)$$

Se denumeste **funtie de transfer (f.d.t)** :

$$H(s) = \frac{b_m \cdot s^m + b_{m-1} \cdot s^{m-1} + \ldots\ldots + b_1 \cdot s + b_0}{a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + \ldots\ldots + a_1 \cdot s + a_0} \quad (9)$$

Din relatia (7) rezulta ca :

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\mathcal{L}\,[y(t)]}{\mathcal{L}\,u[(t)]} = \frac{Q(s)}{P(s)} \quad (10)$$

Deci, **f.d.t a unui sistem este definita de raportul dintre imaginea marimii de iesire a sistemului, ce se obtine in cazul raspunsului normal si imaginea marimii lui de intrare, in conditii initiale nule.**

Observatii :

1. Functia de transfer este o functie de variabila complexa $s = \sigma + j\omega$

2. Coeficientii $\mathbf{a_n}$**……...**$\mathbf{a_0}$ si $\mathbf{b_m}$**………**$\mathbf{b_0}$ ⟶ structura sistemului respectiv.

3. Raspunsul unui sistem dat la diverse semnale de intrare se poate **determina** prin intermediul functiei de transfer.

Intr-adevar, stiind ca $Y(s) = H(s) \cdot U(s)$, rezulta

$$y(t) = \mathcal{L}^{-1}[H(s) \cdot U(s)] \tag{11}$$

4. Daca u(t) = δ(t), atunci y(t) = h(t) si intrucat $\mathcal{L}[\delta(t)] = 1$, rezulta ca functia de transfer devine :

$$H(s) = \mathcal{L}[h(t)] = \int_0^{\infty} h(t) \cdot e^{-st} dt \tag{12}$$

Forme de exprimare algebrica a f.d.t :

a) daca se scoate factor comun b_0 si a_0 se scrie ca :

$$H(s) = \frac{b'_m \cdot s^m + b'_{m-1} \cdot s^{m-1} + ... + b'_1 \cdot s + 1}{a'_n \cdot s^n + a'_{n-1} \cdot s^{n-1} + ... + a'_1 \cdot s + 1} \cdot \frac{b_0}{a_0} \tag{13}$$

unde $\frac{b_0}{a_0}$ se numeste factor static de amplificare. Daca H(s) corespunde unui fenomen fizic real, atunci $\mathbf{n \geq m}$.

- Remarcam ca numitorul f.d.t egalat cu zero constituie ecuatia caracteristica a ecuatiei diferentiale a sistemului dat.
- Radacinile numaratorului notate cu $\mathbf{z_i}$ cu i = 1, 2,….,m, de forma :

$z_i = \alpha_i \pm j\beta_i$ se numesc **zerourile f.d.t**, iar radacinile numitorului notate cu $\mathbf{p_j}$ cu j =1,2.…,n, de forma : $p_j = \alpha_j \pm j\beta_j$ se numesc **polii f.d.t.**

b)

$$H(s) = \frac{b_m \cdot (s - z_1) \cdot (s - z_2) \ldots\ldots\ldots (s - z_m)}{a_n \cdot (s - p_1) \cdot (s - p_2) \ldots\ldots\ldots (s - p_n)} \tag{14}$$

cand radacinile si polii sunt reali (α = p-z)

c) Daca atat numitorul cat si numaratorul au radacini in origine, s = 0, atunci f.d.t are forma :

$$H(s) = \frac{k}{s^{\alpha}} \cdot \frac{Q_q(s)}{P_p(s)} \tag{15}$$

unde $k = \frac{b_{m-q}}{a_{n-p}}$ este factorul de amplificare iar **α** este ordinul polului in origine.

Concluzie: cunoscand ecuatia diferentiala a unui sistem putem scrie f.d.t corespunzatoare.

Exemplu de stabilire a functiei de transfer

Accelerometru- figura 3.7

In raport cu suportul *S*, masa *m* se va deplasa din pozitia sa de repaos spre stanga cu **distanta** y(t) si **acceleratia** $\frac{d^2 y(t)}{dt^2}$

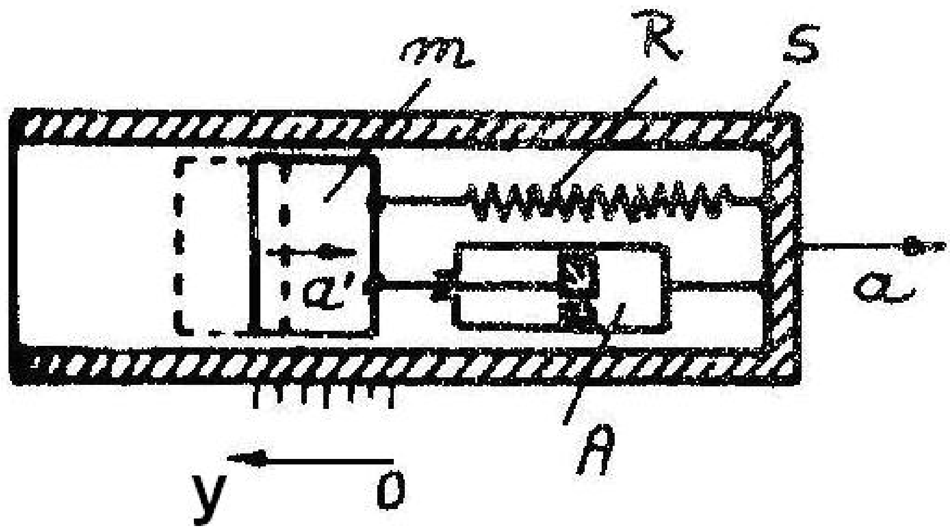


Fig.3.7

- **Sa stabilim mai intai modelul matematic**

Acceleratia rezultanta ***a***', in deplasarea spre dreapta, va fi data de relatia :

$$a' = a - \frac{d^2 y(t)}{dt^2}$$

Forta de inertie care actioneaza asupra masei *m* in cadrul acestei miscari, va fi :

$$F_i = m \cdot a' = m \cdot (a - \frac{d^2 y(t)}{dt^2})$$

$$F_i = F_m = ky(t) + k_a \frac{dy(t)}{dt} = m(a - \frac{d^2 y(t)}{dt^2})$$

Rezulta urmatoare ecuatie diferentiala liniara de ordinul II:

$$m \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + k_a \cdot \frac{dy(t)}{dt} + k \cdot y(t) = m \cdot a \qquad (16)$$

ce exprima dependenta dintre citirea ***y*** (deplasarea masei m) si acceleratia ***a*** a suportului S.

-Sa stabilim functia de transfer

Semnalul de intrare este acceleratia suportului u (t) =a.

Semnalul de iesire este deplasarea masei m (citirea y).

Se aplica ecuatiei (16) transformata Laplace pentru conditii nule:

$$m \cdot L\left[\frac{d^2 y(t)}{dt^2}\right] + k_a \cdot L\left[\frac{dy(t)}{dt}\right] + k \cdot L\left[y(t)\right] = m \cdot L\left[a\right]$$

$$m \cdot s^2 \cdot Y(s) + k_a \cdot s \cdot Y(s) + k \cdot Y(s) = m \cdot U(s)$$

Relatia de mai sus se imparte la *m* si se obtine :

$$s^2 \cdot Y(s) + \frac{k_a}{m} \cdot s \cdot Y(s) + \frac{k}{m} \cdot Y(s) = U(s)$$

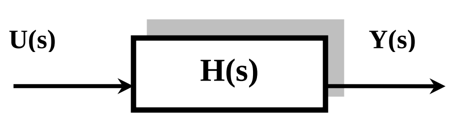
$$(s^2 + \frac{k_a}{m} \cdot s + \frac{k}{m}) \cdot Y(s) = U(s)$$

Rezulta f.d.t

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{s^2 + \frac{k_a}{m} \cdot s + \frac{k}{m}} \qquad (32)$$

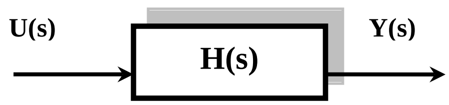
Observatie :

F.d.t caracterizeaza transferul informational intrare-iesire. Practic, ecuatia de definitie a f.d.t. **Y(s) = H(s) · U(s)**, se reprezinta astfel :



Observatie :

F.d.t caracterizeaza transferul informational intrare-iesire. Practic, ecuatia de definitie a f.d.t. Y(s) = H(s) · U(s), se reprezinta astfel :



Reprezentari grafice ale f.d.t

Diagrama Nyquist

Orice f.d.t **H(s),** fiind o functie de variabila complexa **s = σ +jω**, poate fi scrisa sub forma :

$$H(j\omega) = H_{\text{Re}}(\omega) + j \cdot H_{\text{Im}}(\omega) = M(\omega) \cdot e^{j \cdot \varphi(\omega)}$$

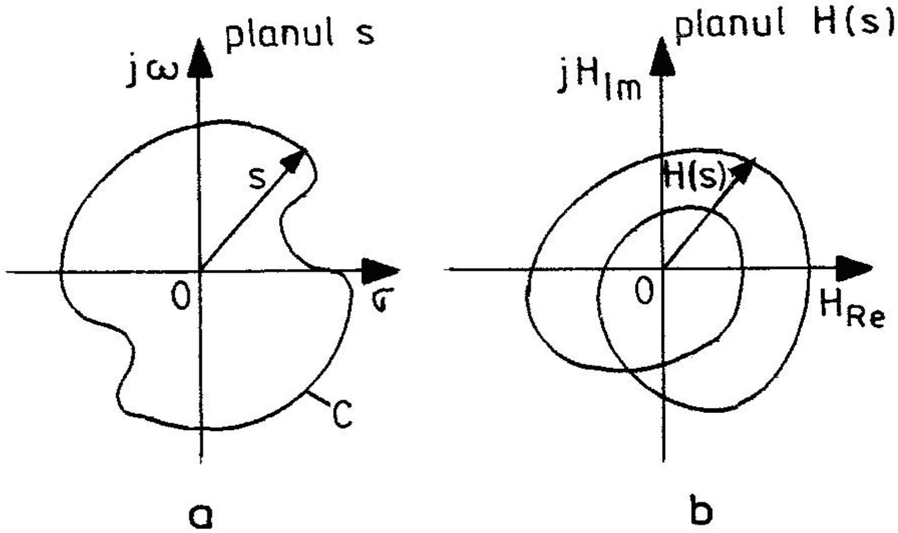


Fig.3.8

- conturul Nyquist este un semicerc cu centrul in originea axelor planului *s* , avand raza infinit mare si limitat la stanga de axa imaginara, fig. 3.9.

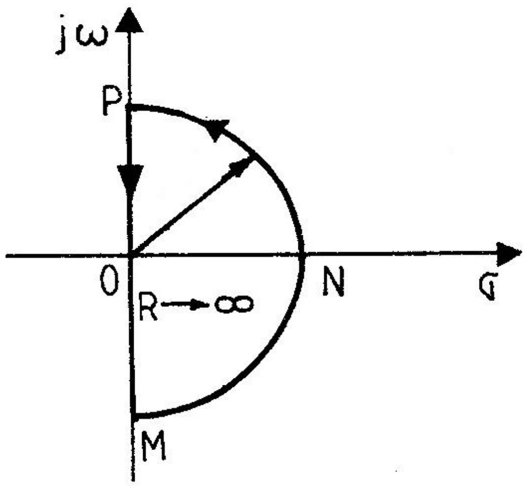


Fig.3.9

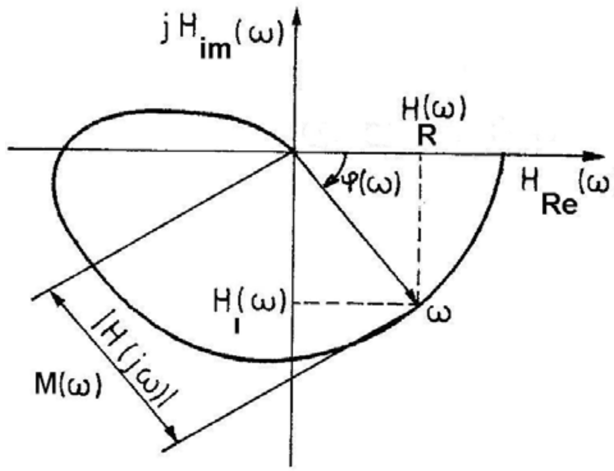


Fig.3.10

Hodograful vectorului ***H(jω)*** reprezinta raspunsul la frecventa al unui sistem dinamic caracterizat de functia de transfer ***H(s)***. Locul de transfer este o curba in planul ***H(jω)***, gradata in valori ale pulsatiei ***ω*** (fig. 3.10).

$H_R(\omega)$ si $H_I(\omega)$ se numesc **caracteristica reala de frecventa**, respectiv **caracteristica imaginara de frecventa**

Diagrama Bode

Caracteristicile ***modul*** $M(\omega)=\sqrt{H_R^2(\omega)+H_I^2(\omega)}$

faza $\varphi(\omega)=arctg\dfrac{H_I(\omega)}{H_R(\omega)}$ → ***diagrama Bode***

lg ω

Pentru raspunsul in frecventa ⟶ o masura a amplificarii sistemului (pentru ***M(ω)***):

$$A_{dB}(\omega) = 20\cdot\lg M(\omega)$$

- ***$A_{dB}(\omega)$*** se numeste ***atenuare*** si se masoara cu o unitate de masura a amplificarii, introdusa in mod artificial, numita ***decibel*** (*dB)*. Astfel, de exemplu, pentru o amplificare de *1000* corespunde o atenuare de *60 dB.*
- Caracteristica ***atenuare-frecventa*** se reprezinta luand in ordonata o scara liniara pentru atenuarea ***$A_{dB}(\omega)$*** in decibeli.
- Pentru caracteristica ***faza-frecventa*** in ordonata se iau valorile fazei ***$\varphi(\omega)$*** exprimate in grade sau in radiani.
- Perechea de caracteristici ***$A_{dB}(\omega)$- ***atenuare-frecventa* si ***$\varphi(\omega)$- ***faza-frecventa* reprezinta ***locul lui Black***.

Fig. 3.11 prezinta exemple de reprezentari grafice pentru H (jω)

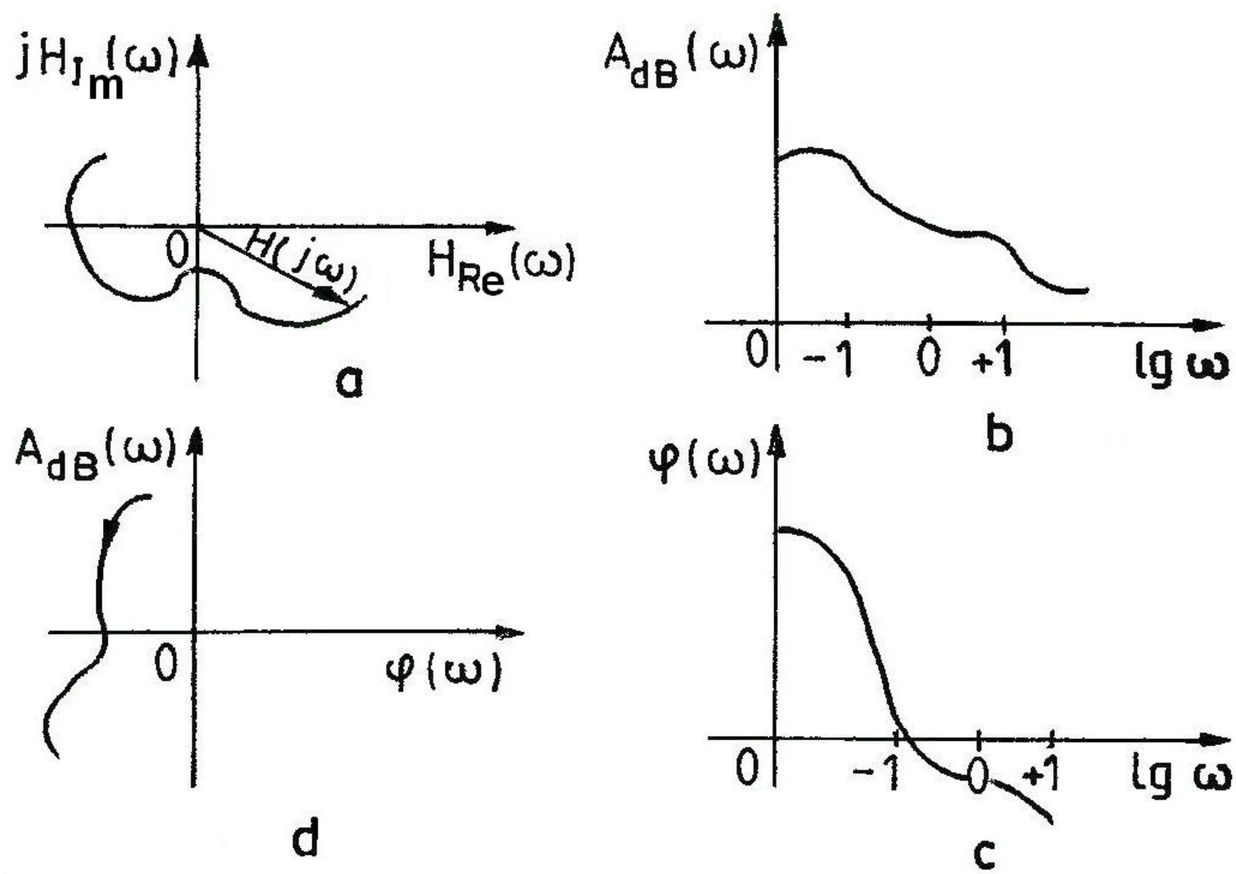


Fig.3.11

- Avantaje

d) Operatii cu functii de transfer

d1)Conexiunea “serie”

Un numar de *n* elemente cu functiile de transfer $H_1(s)$, $H_2(s)$,…, Hn(s), sunt conectate in serie daca marimea de iesire a elementului k este marime de intrare pentru elementul k+1 ca in fig. 3.12a

$$U_{k+1}(s) = Y_k(s) \; ; \; k = 1,2,\dots, n-1 \tag{33}$$

$$U(s) = U_1(s); \; Y(s) = Y_n(s)$$

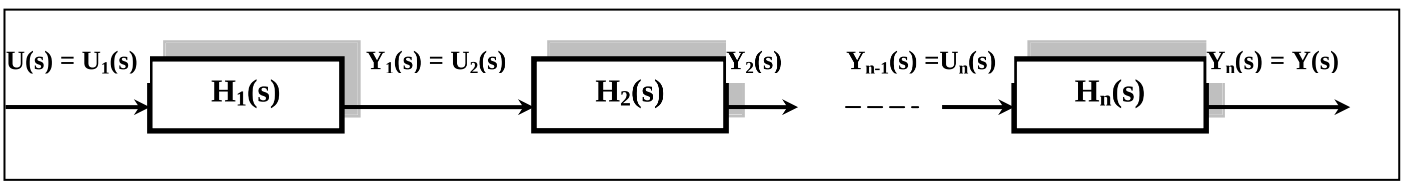


Fig.3.12a

Pentru fiecare element se poate scrie:

$$Y_k(s) = H_k(s)\cdot U_k(s) \qquad k = 1,2,\dots, n-1 \tag{34}$$

Functia de transfer a elementului echivalent cu intrarea U(s) si iesirea Y(s) se determina tinand seama de (33) si (34):

$$Y(s) = Y_n(s) = H_n(s)\cdot U_n(s) = H_n(s)\cdot Y_{n-1}(s) = H_n(s)\cdot H_{n-1}(s)\cdot U_{n-1}(s) =$$

$$= H_n(s)\cdot H_{n-1}(s)\cdot \dots\dots H_1(s)\cdot U_1(s) = \left(\prod_{k=1}^{n} H_k(s)\right)\cdot U(s) = H(s)\cdot U(s)$$

(35)

Din relatia (35) rezulta:

$$H(s) = \prod_{k=1}^{n} H_k(s) \qquad (36)$$

Elementul echivalent este reprezentat in fig. 3.12 b

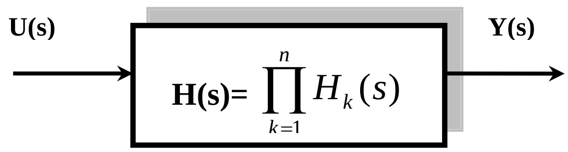


Fig. 3.12b

Deci, functia de transfer echivalenta pentru mai multe elemente conectate in serie este egala cu produsul functiilor de transfer ale acestor elemente.

d2) Conexiunea "paralel"

Elementele cu functiile de transfer $H_1(s)$, $H_2(s)$,…, $H_n(s)$ sunt conectate in paralel daca au aceeasi marime de intrare:

$$U_1(s) = U_2(s) = \ldots\ldots = U_n(s) = U(s) \qquad (37)$$

iar iesirile se insumeaza algebric:

$$Y(s) = \sum_{k=1}^{n} Y_k(s) \qquad (38)$$

O astfel de structura este reprezentata in figura 3.13a, unde la elementul sumator este precizat semnul cu care fiecare iesire apare in suma (38)

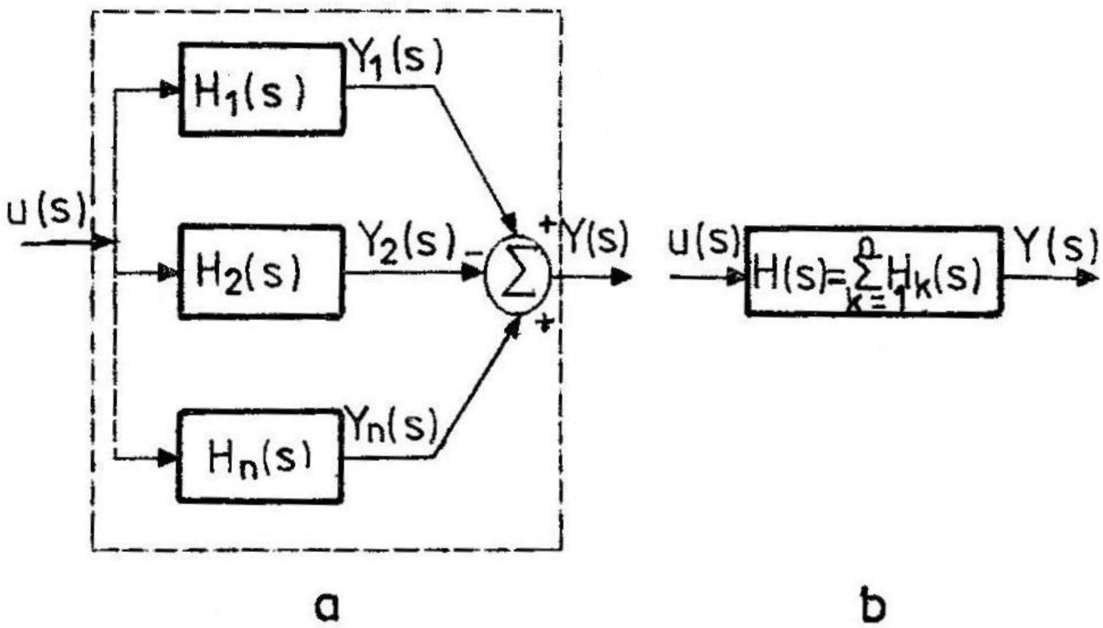


Fig. 3.13

Deoarece pentru fiecare element se poate scrie:

$$Y_k(s) = H_k(s)\cdot U_k(s) = H_k(s)\cdot U(s) \qquad k = 1,2,\ldots, n$$

din (38) rezulta:

$$Y(s) = \sum_{k=1}^{n} H_k(s)\cdot U(s) \tag{39}$$

Deci, functia de transfer a sistemului echivalent prezentat in figura 3.13b are expresia:

$$H(s) = \sum_{k=1}^{n} H_k(s) \tag{40}$$

Asadar, functia de transfer echivalenta pentru mai multe elemente conectate in paralel este egala cu suma functiilor de transfer ale acestor elemente.

d3)Conexiunea “reactie inversa”

Conexiunea cu reactie inversa a doua elemente cu functiile de transfer $H_1(s)$ si $H_2(s)$ este prezentata in figura 3.14.

In conformitate cu aceasta schema se pot scrie relatiile:

$$U_1(s) = U(s) \pm Y_2(s)\ ;\quad U_2(s) = Y_1(s) = Y(s) \tag{41}$$

Din (41) si relatiile de definitie ale functiilor de transfer $H_1(s)$ si $H_2(s)$ rezulta:

$$Y(s) = Y_1(s) = H_1(s) \cdot U_1(s) = H_1(s) \cdot U(s) \pm H_1(s) \cdot H_2(s) \cdot Y(s)$$

de unde:

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{H_1(s)}{1 \mp H_1(s) \cdot H_2(s)} \tag{42}$$

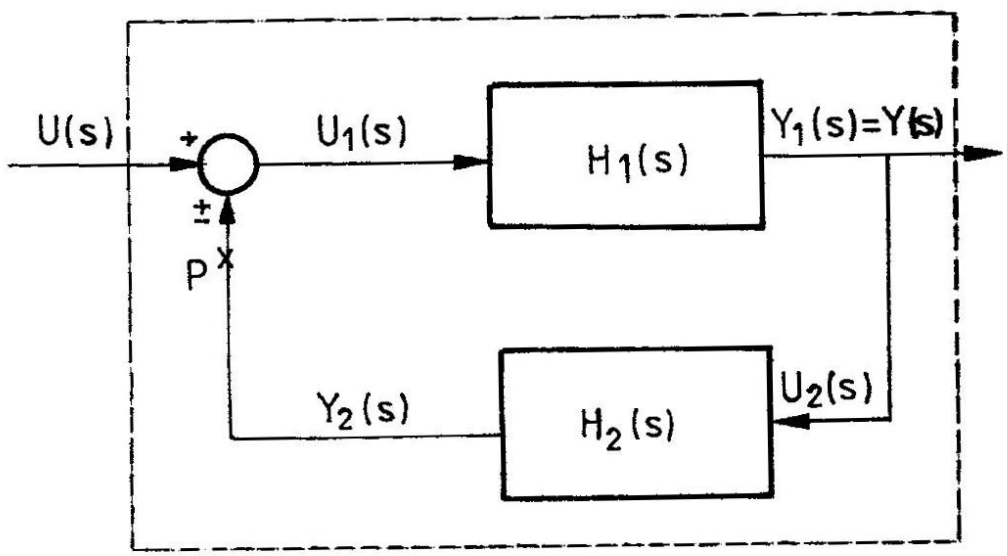


Fig. 3.14

Daca reactia este adusa direct de la iesirea unui element, se spune ca reactia este unitara, fig. 3.15.

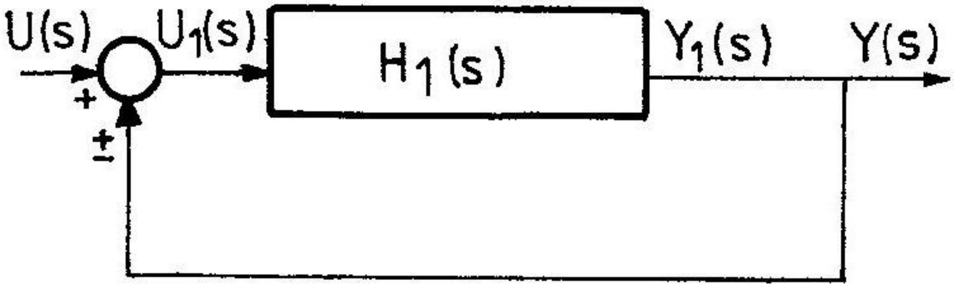


Fig. 3.15

In acest caz, functia de transfer echivalenta se gaseste considerand $U_2(s) = Y_2(s)$, adica $H_2(s) = 1$ in relatia (42):

$$H(s) = \frac{H_1(s)}{1 \mp H_1(s)} \tag{43}$$

Asadar, functia de transfer H(s) echivalenta conexiunii cu reactie inversa este egala cu raportul dintre functia de transfer a caii directe $H_1(s)$ si suma sau diferenta (pentru reactie inversa negativa, respectiv pozitiva) dintre unitate si functia de transfer a buclei (calea directa si calea de reactie), considerate deschisa in punctul P, fig. 3.14

Observatii:

1. In cazul schemelor functionale mai complexe, calculul functiilor de transfer echivalente → reguli de transformare prezentate in tabele
   →utilizarea grafurilor de fluenta (formula lui Mason).
2. Notiunea de functie de transfer se extinde si in domeniul sistemelor discrete (esantionate), → ***functie de transfer in "z".***

4. Regimuri de functionare ale sistemelor automate

Se considera SLCS, descris de ecuatia diferentiala :

$$a_n \cdot \overset{n}{y} + a_{n-1} \cdot \overset{n-1}{y} + ...+ a_1 \cdot \dot{y} + a_0 \cdot y = b_m \cdot \overset{m}{u} + b_{m-1} \cdot \overset{m-1}{u} + ...+ b_1 \cdot \dot{u} + b_0 \cdot u ,$$

Solutia acestei ecuatii se prezinta sub forma :

$$\mathbf{y(t) = y_l(t) + y_f(t)}$$

unde $\mathbf{y_f(t)}$ caracterizeaza regimul fortat

$\mathbf{y_l(t)}$ caracterizeaza regimul liber

Componenta $\mathbf{y_l(t)}$ este solutia ecuatiei omogene : $\sum_{k=0}^{n} a_k \cdot \overset{k}{y}(t) = 0$

Regimurile de functionare ale sistemelor automate sunt :

- **regimul permanent** → $\mathbf{y_l(t)=0}$ **;**
- **regimul tranzitoriu** caracterizat de :
  - existenta celor doua componente ale raspunsului y(t), cand $\mathbf{u(t) \neq 0}$ sau
  - existenta componentei libere , cand $\mathbf{u(t) = 0}$ **;**

Definitii :

- **Caracteristica statica**
- **Caracteristica dinamica**

5.Stabilitatea sistemelor automate- indicator de calitate

Stabilitatea sistemului este proprietatea acestuia de a restabili prin actiunea sa un nou regim permanent, in conditiile in care sub actiunea variatiei marimii de intrare sau a perturbatiilor a fost scos din regimul permanent anterior.
Problema stabilitatii s-a pus initial in studiul sistemelor mecanice, fiind incetatenite in aceasta directie in special conceptele lui Lagrange (1736-1813).

Exista diferite **definitii si concepte de stabilitate** , dintre care mentionam :

- **stabilitatea starii de echilibru** (in sens Lagrange), astfel :
  - pentru un sistem monovariabil descris de o ecuatie diferentiala de ordin n , starea sa de echilibru este caracterizata de faptul ca marimea de intrare ramane constanta in timp, la fel marimea de iesire a sistemului, iar derivatele succesive ale acesteia $\dot{y} \cdots\cdots \overset{n-1}{y}$ sunt nule.
  - daca modelul matematic este o ecuatie de stare, atunci starea de echilibru este data de acel vector de stare $X(t)$, pentru care este indeplinita conditia $\dot{X}(t) = 0$.
- **conceptul de stabilitate energetic**;
- **conceptul de stabilitate Leapunov**, din care deriva si notiunea de stabilitate exponentiala, care impune sa existe doua constante pozitive **C si α**, astfel incat :

$$X(t) \leq C \cdot e^{\alpha(t-t_0)} \cdot X(t_0)$$

- **stabilitatea de tip intrare marginita – iesire marginita (IMEM)**, conform careia un sistem este stabil daca semnalul de la iesire rezulta marginit in cazul in care la intrare se aplica un semnal marginit.

5.1 Criteriul fundamental de stabilitate

Analiza stabilitatii SLCS porneste de la studiul regimului liber normal, pentru care:

$$Y(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} \cdot U(s) \qquad (1)$$

In cazul general, cand functia *u(t)* este mai complicata, imaginea ei *U(s)* se poate scrie sub forma a doua polinoame in *s* si anume :

$$U(s) = \frac{X_1(s)}{X_2(s)} \qquad (2)$$

In acest caz, relatia (1) devine :

$$Y(s) = \frac{Q(s)}{P(s)} \cdot \frac{X_1(s)}{X_2(s)} \qquad (3)$$

Relatia (3) se poate exprima sub forma unei sume de fractii simple, ceea ce impune cunoasterea celor ***n*** **radacini** $\mathbf{p_1, p_2, \ldots p_n}$ ale polinomului **P(s)** si a celor ***r*** radacini $\boldsymbol{\rho_1, \rho_2, \ldots \rho_r}$ ale polinomului $\mathbf{X_2(s)}$.

In acest caz, numitorul relatiei (3) se poate scrie :

$P(s) \cdot X_2(s) = a_n \cdot a_r \cdot (s-p_1) \cdot (s-p_2) \cdot \ldots \cdot (s-p_n) \cdot (s-\boldsymbol{\rho}_1) \cdot (s-\boldsymbol{\rho}_2) \cdot \ldots \cdot (s-\boldsymbol{\rho}_r)$ (4)

Conform teoremei dezvoltarii in calculul operational, fractia $\frac{Q(s)}{P(s)} \cdot \frac{X_1(s)}{X_2(s)}$ se poate descompune in *(n+r)* fractii simple, astfel:

$$\frac{Q(s)}{P(s)} \cdot \frac{X_1(s)}{X_2(s)} = \frac{A_1}{(s-p_1)} + \frac{A_2}{(s-p_2)} + \ldots + \frac{A_n}{(s-p_n)} + \frac{B_1}{(s-\rho_1)} + \frac{B_2}{(s-\rho_2)} + \ldots + \frac{B_r}{(s-\rho_r)} \qquad (5)$$

Aplicand transformata Laplace inversa relatiei anterioare (5), se obtine:

$$y(t)=\sum_{i=1}^{n} C_{l_i}\cdot e^{p_i(t)}+\sum_{j=1}^{r} C_{f_j}\cdot e^{\rho_j(t)} \qquad (6)$$

unde $y_l(t)=\sum_{i=1}^{n} C_{l_i}\cdot e^{p_i(t)}$ si $y_f(t)=\sum_{j=1}^{r} C_{f_j}\cdot e^{\rho_j(t)}$ (7)

C_{li} cu i = 1,..,n sunt **constante de integrare**,

p_i sunt polii f.d.t (radacinile ecuatiei caracteristice P(s) = 0).

Forma si distributia radacinilor ecuatiei caracteristice P(s)=0 (radacini=poli) determina caracterul regimului tranzitoriu (liber) si determina stabilitatea sistemului.

Observatii :

- Studiul stabilitatii sistemelor liniare se reduce la **studiul distributiei radacinilor ecuatiei caracteristice fata de axa imaginara (studiul polilor)**

- Sistemul automat /mecatronic este **stabil** atunci cand ecuatia lui caracteristica admite radacini situate in stanga axei imaginare a planului complex al radacinilor.

- Sistemul automat liniar este la **limita de stabilitate** sau **oscilant intretinut** daca ecuatia lui caracteristica, in afara unor radacini situate in stanga axei imaginare a planului radacinilor, admite in plus cel putin o pereche de radacini imaginare duble.

- Sistemul este **instabil** cand ecuatia lui caracteristica admite o radacina situata in dreapta axei imaginare a planului radacinilor, sau radacini multiple situate pe axa imaginara.

- Din cele mentionate, rezulta ca in aplicarea criteriului fundamental de stabilitate este necesara rezolvarea ecuatiei caracteristice a sistemului, rezolvare ce este dificila cand ordinul ecuatiei este mai mare decat patru.

5.2 Criteriul de stabilitate Routh-Hurwitz

Criteriul coeficientilor, stabilit de Routh si Hurwitz, este un **criteriu algebric** de evaluare a stabilitattii sistemelor fara rezolvarea ecuatiei lor caracteristice.

Fie ecuatia caracteristica a unui sistem liniar :

$$P(s) = a_n \cdot s^n + a_{n-1} \cdot s^{n-1} + ... + a_1 \cdot s + a_0 = 0 \qquad (8)$$

in care toti coeficientii sunt constanti si diferiti de zero.

Cu coeficientii polinomului caracteristic se construieste un determinant de ordin *n*, egal cu gradul polinomului, numit **determinant Hurwitz**. O conditie necesara si suficienta pentru ca sistemul (a carui ecuatie caracteristica este cunoscuta) sa fie stabil, este ca toti determinantii minori principali, inclusiv determinantul Hurwitz sa fie strict pozitivi.

Determinantul Hurwitz (rel.9) se construieste astfel :

-pe diagonala principala se trec coeficientii polinomului caracteristic $P(s)$ scris in ordinea descrescatoare a puterilor lui *s*, incepand cu a_{n-1} ;

-pe fiecare coloana, sub diagonala principala, se trec coeficientii termenilor de grad superior, iar deasupra diagonalei principale se trec coeficientii termenilor de grad inferior ;

- dupa epuizarea coeficientilor, locurile ramase libere se completeaza cu zerouri.

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots\dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_2 & a_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_3 & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & a_4 & a_2 & a_0 \end{vmatrix} \tag{9}$$

Aceasta inseamna ca :

$$\Delta_1 = a_{n-1} > 0 \;;\; \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} \\ a_n & a_{n-2} \end{vmatrix} > 0 \;;\; \Delta_3 = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & a_{n-5} \\ a_n & a_{n-2} & a_{n-4} \\ 0 & a_{n-1} & a_{n-3} \end{vmatrix} > 0 \;;\; \Delta_n > 0 \tag{10}$$

Exemplu

Fie un element (sistem) cu functia de transfer :

$$H(s) = \frac{1}{s^3 + 8 \cdot s^2 + 14 \cdot s + 24}$$

Ecuatia caracteristica corespunzatoare este data de relatia :

$$P(s) = s^3 + 8 \cdot s^2 + 14 \cdot s + 24 = 0$$

Se calculeaza : $\Delta_1 = 8; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} 8 & 24 \\ 1 & 14 \end{vmatrix} > 0;$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 8 & 24 & 0 \\ 1 & 14 & 0 \\ 0 & 8 & 24 \end{vmatrix} = 8 \cdot 14 \cdot 24 - 24 \cdot 24 = 8 \cdot 24 \cdot (14 - 3) = 212$$

Deoarece toti coeficientii si determinantii sunt pozitivi, sistemul considerat este stabil.

5.3 Criteriul de stabilitate Nyquist

Criteriul de stabilitate Nyquist este un **criteriu frecvential** care permite analiza stabilitatii unui sistem cu reactie unitara negativa, pe baza locului de transfer ***H(jω)*** a sistemului in circuit deschis si a cunoasterii numarului de poli ai functiei ***H(s)*** din semiplanul drept al planului complex *s*.

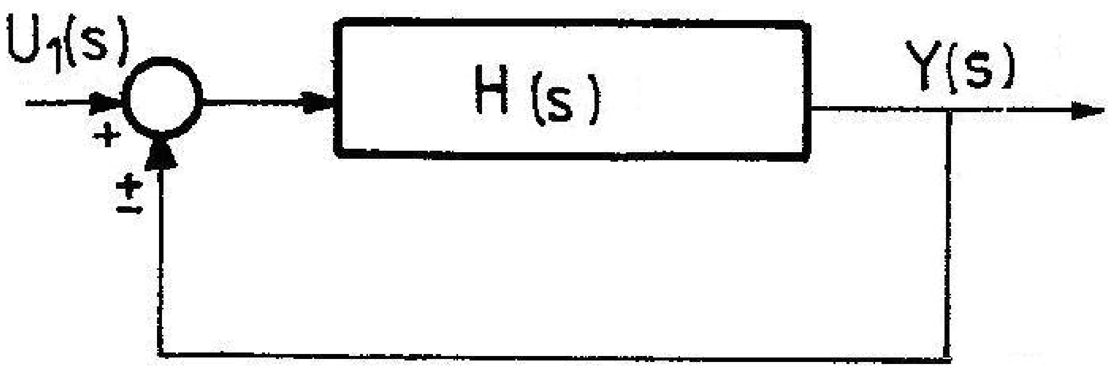


Fig. 5.1

Se considera ca functia de transfer a **sistemului deschis** este $H(s) = \dfrac{Q(s)}{P(s)}$

unde *P(s)* si *Q(s)* sunt doua polinoame de grad *n* si respectiv *m*, cu $m \leq n$.

Pentru structura inchisa din fig.5.1, functia de transfer echivalenta $H_e(s)$:

$$H_e(s) = \frac{H(s)}{1+H(s)} = \frac{\dfrac{Q(s)}{P(s)}}{1+\dfrac{Q(s)}{P(s)}} = \frac{Q(s)}{P(s)+Q(s)} = \frac{H(s)}{G(s)} \qquad (11)$$

unde

$$G(s) = \frac{P(s)+Q(s)}{P(s)} \qquad (12)$$

Rel. (12) → pentru verificarea practica a criteriului fundamental de stabilitate, este suficient sa se reprezinte hodograful *H(jω)*, deoarece hodograful *G(jω)* se poate obtine din hodograful *H(jω)*, prin raportarea la o noua origine *(-1, j0)*, in planul *H(jω)*.

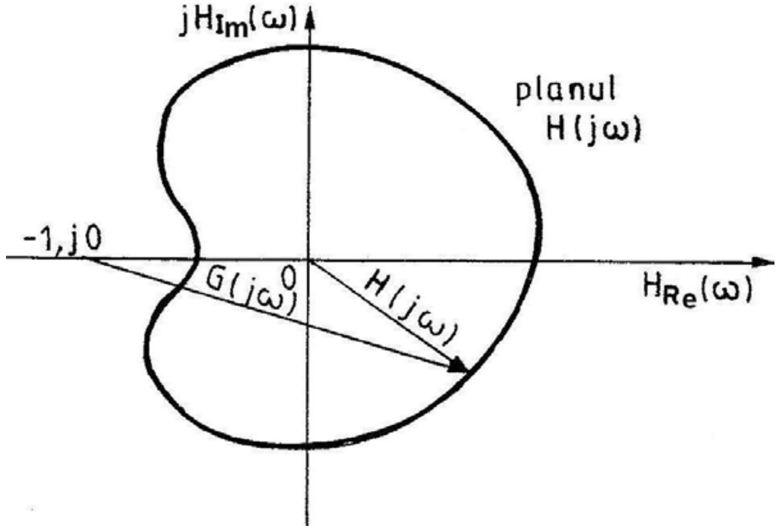


Fig.5.2

Se poate formula acum **criteriul Nyquist** astfel :

- Un sistem SLCS cu structura inchisa , cu functia de transfer data de rel. (11), este stabil numai daca locul de transfer al sistemului deschis, adica hodograful *H(jω)*, inconjoara punctul *(-1, j0)* pentru *ω* crescator, in sens trigonometric pozitiv, de un numar *N* de ori egal cu numarul *P* al polilor functiei (11).

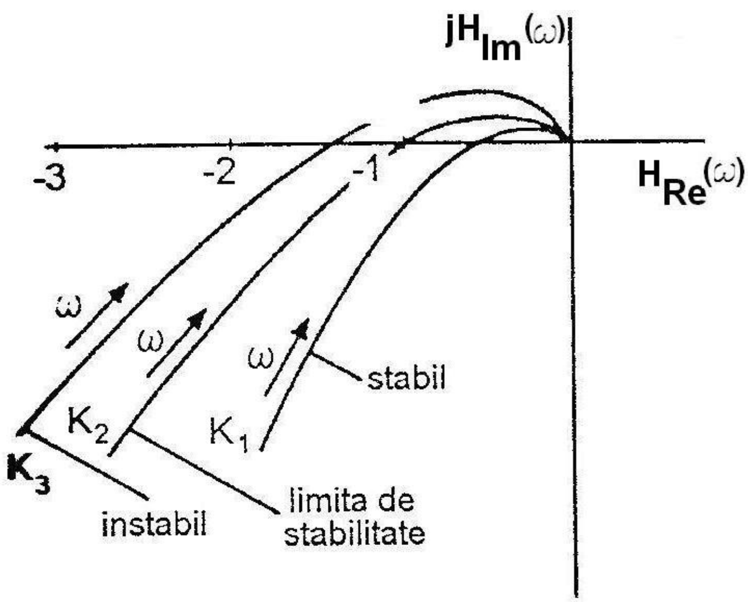


Fig.5.3

In cazul particular des intalnit in practica (fig.5.3), cand **N = 0** si **P = 0**, acest criteriu prezinta forma simplificata:

- Un sistem este stabil, daca raspunsul la frecventa, *H(jω)*, parcurs in sensul *ω* crescator (de la *ω = 0* spre *ω* = ∞) situeaza punctul critic *(-1, j0)* in stanga acestei curbe si este nestabil daca acest punct este la dreapta curbei.

In cazul cand punctul critic este pe aceasta curba, sistemul echivalent este la limita de stabilitate.

Avantajele criteriului Nyquist :

1. Conform rel. (11) si (12), se observa ca utilizand locul de transfer *H(jω)* se poate aprecia atat stabilitatea sistemului dechis cu functia de transfer *H(s)*, cat si stabilitatea sistemului inchis cu reactie negativa unitara cu functia *H(s)* pe calea directa.

2. In cazul cand e dificil de obtinut un model matematic al unui sistem sub forma unei functii de transfer, determinarea locului de transfer al sistemului in circuit deschis si utilizarea criteriului Nyquist permite analiza stabilitatii acestui sistem si a sistemului inchis cu reactie unitara corespunzator.

6. Structura hardware a unui sistem automat

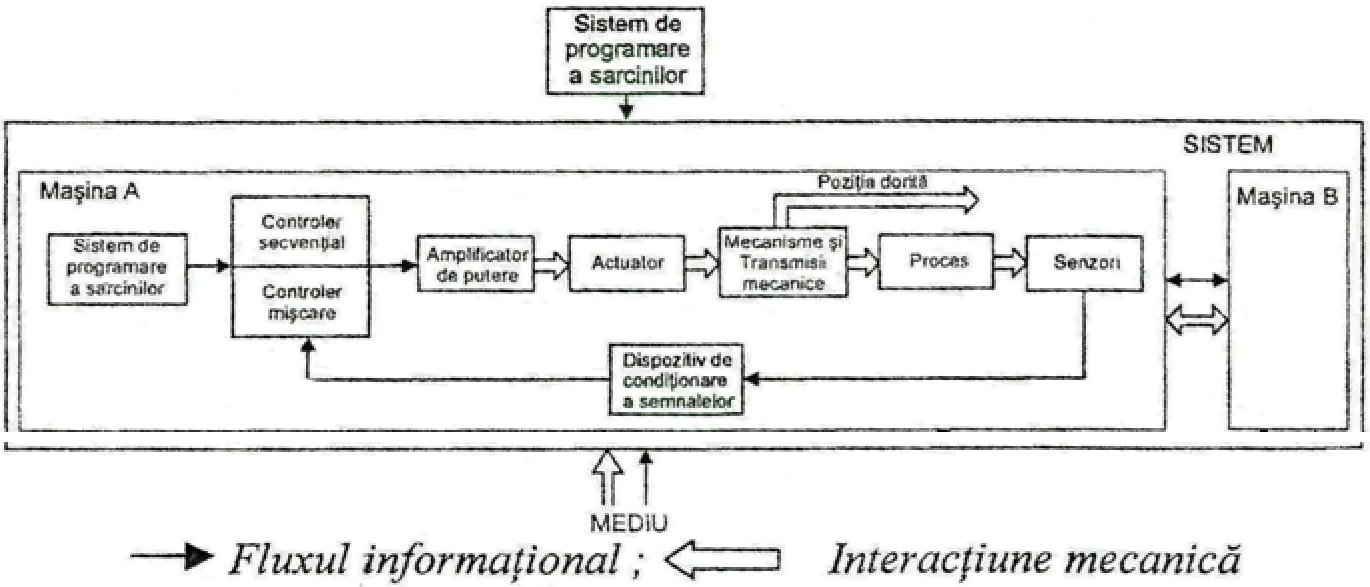


Fig.1 Schema bloc a unui sistem mecatronic

Modulele componente:

- ***Sistemul de programare a sarcinilor –***
- ***Controlerul de secvente si miscare –***
- ***Amplificatorul de putere –***
- ***Actuatorul –***
- ***Mecanismele si transmisiile mecanice –***
- ***Senzorii –***
- ***Dispozitivul de conditionare a semnalelor –***

6.1 Descrierea elementelor specifice

6.1.1 Microprocesorul

Este de fapt **o unitate centrala (CPU) intr-un singur chip.**

Memoria si sistemul de intrari/iesiri sunt, de regula, externe microprocesorului. Toate acestea formeaza un ***microcomputer(microprocesor)***, a carui structura este reprezentata in fig.2

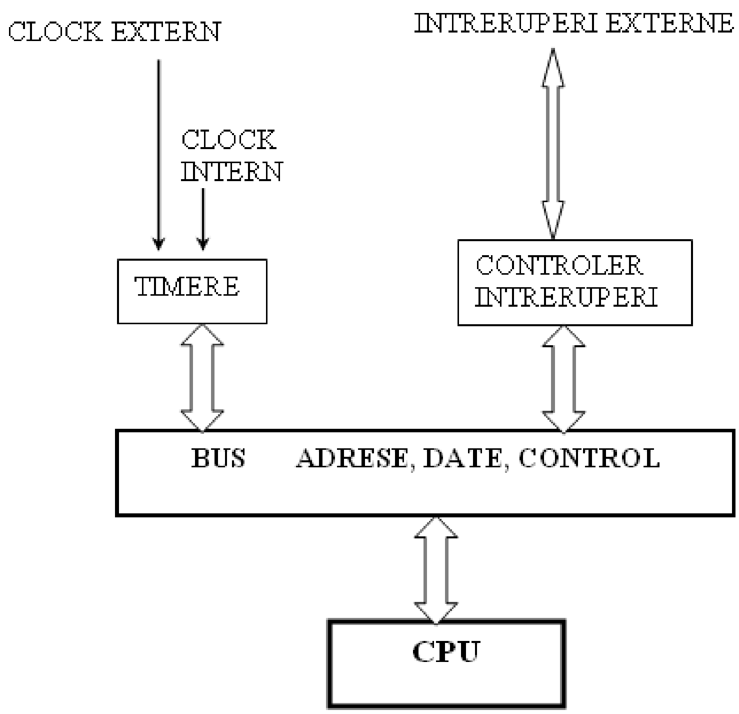


Fig.2 Structura unui microprocesor

- ***Incoveniente***

6.2.2 Microcontrolerul

1. **Definitie**

Un microcontroler este similar unui microprocesor. Ambele conţin o unitate centrală de prelucrare sau CPU (central processing unit).

Microcontrolerul **este un calculator pe un chip** deorece el conţine şi memorie şi interfeţe de intrare-iesire pe lângă CPU (fig.3)

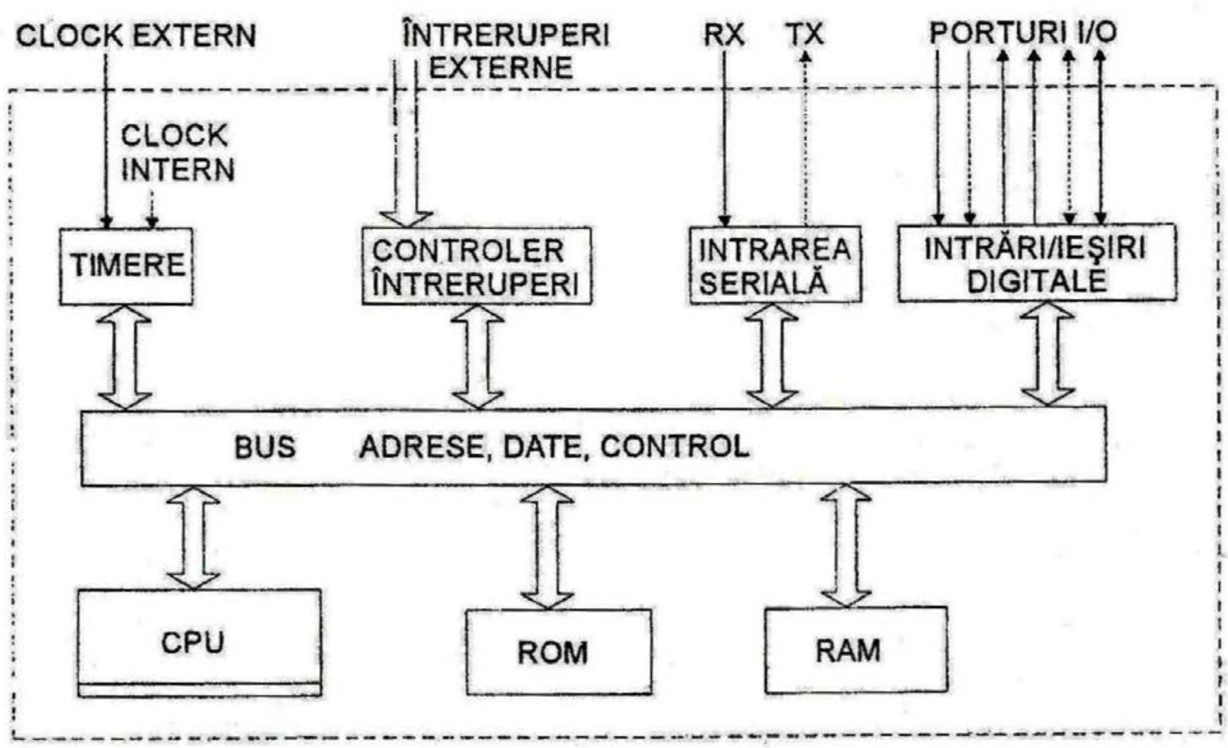


Fig.3 Structura unui microcontroler

2. Caracteristici:

- dimensiune redusa a memoriei program si a memoriei date;
- contine module pt interfatare digitala si analogica cu senzori si actuatori;
- raspunde rapid la evenimente externe;
- se executa intr-o mare varietate pt a putea fi satisfacute cerintele diferitor aplicatii la un raport pret/performante corespunzator necesitatilor.

3. Motivatia utilizarii microcontrolerului in controlul proceselor:

- program memorat; - calcul digital (numeric); - viteza de operare; - flexibilitate in proiectare; - autotestul; - comunicatiile; - consum de energie redus; - integrare; - costul in continua scadere

4. Structura:

Modulele de baza ale microcontrolerelor

1. Unitatea centrala (CPU-central processing unit)
2. Memoria (ROM, RAM, EEPROM);
3. Sistemul de intrari/iesiri (I/O)

Alte functii specifice

4. Masurarea timpului
5. Canale PWM (Pulse Width Modulated Outputs)
6. Conversia digital - analoga
7. Conversia analog – digitala
8. Comunicatii paralele si seriale

5. Unitatea de memorie UM

- **Mod de funcţionare**

Unitatea de memorie este acea parte a microcontrolerului care are funcţia de a **înmagazina informaţia** sub formă de date şi de a o face accesibilă (operaţie denumită “**Citire-Read**”) atunci când se doreşte acest lucru.

Introducem conceptul de “**locaţie de memorie**”

“**adresare**” ca operaţia de “**selectare**” sau “**desemnare**”

“cod de adresă”

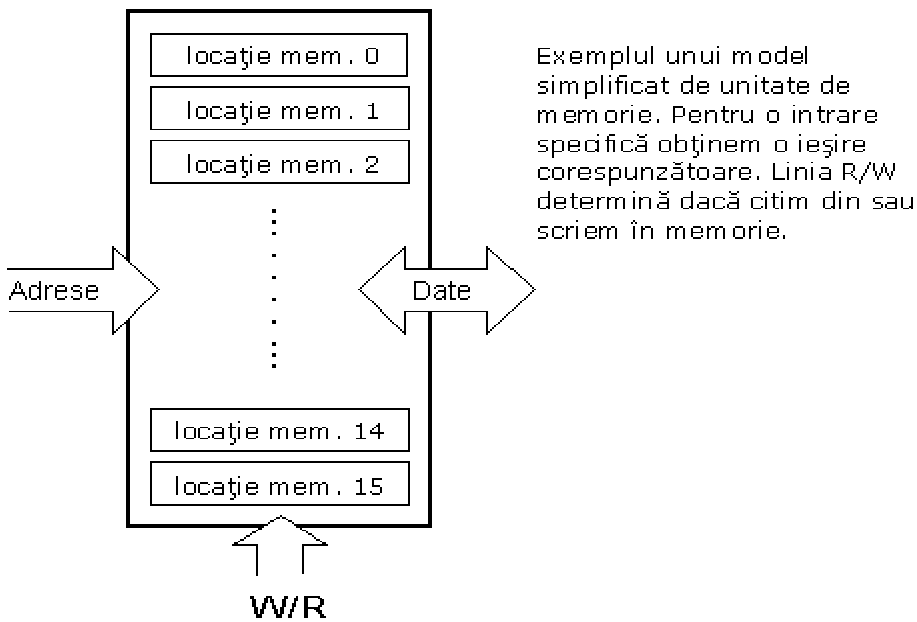


Fig.4

Pentru un anumit cod de adresă aplicat la intrarea “ Adrese” (vezi figura 4) obţinem la ieşirea “Date”, conţinutul sub formă de date a unei anumite locaţii de memorie adresate. Se poate spune deci că memoria este alcătuită din toate locaţiile de memorie şi adresarea nu este altceva decât alegerea uneia din ele.

- Variante de realizare a memoriei locale

- O celula de memorie de 1 bit este un circuit capabil sa mentina o stare logica (0 sau 1 logic)
- Gruparea a 8 celule de memorie de 1 bit reprezinta o memorie de 1 octet

a) Memoria ROM (Read only Memory)

- poate fi doar citita de CPU si este nevolatila ;

-se foloseste pt pastrarea programului si a datelor de tip constanta

- inscrierea programului in memorie se face cu un echipament denumit (E)PROM

PROM – se programeaza o singura data

EPROM – se poate programa de mai multe ori (de peste 100 ori)

- Pt stergere se utilizeaza dispozitiv „Stergator de EPROM”
- Majoritatea microcontrolerelor poseda ROM interna, de tip PROM sau EPROM; cea PROM specifica microcontrolerelor programabile o singura data – OTP;

b) Memoria RAM (Random Acces Memory)

- Poate fi citita si scrisa si este volatila ;
- Se utilizeaza pt pastrarea datelor; memoria este mica (64…512 octeti), dar pentru multe aplicatii este suficienta;
- Poate fi interna (poate fi impartita in mai multe zone cu functiuni diferite) si externa;

c) Memoria EEPROM (Electrically Erasable PROM)

– Sunt nevolatile; pot fi sterse electric fiind utile in sistemele cu microcontrolere pentru pastrarea unor date ce se modifica relativ rar (date de calibrare, constante de traductor etc.) sau pastrarea datelor masurate ;
- Timp de citire/scriere mai mare decat in cazul RAM;
- De regula este externa (ca masura de protectie) insa unele microcontrolere pot avea si EEPROM interna; in caz de defectare, datele pot fi citite de un alt microcontroler.

6. Unitatea centrală de procesare CPU

- Rol şi funcţionalitate

Este blocul din componenţa unui microcontroler capabil să acţioneze asupra conţinutului (datelor) uneia sau mai multor locaţii conţinute în unitatea de memorie UM, **specializat pe operaţii** (de adunare, înmulţire, împărţire, extragere şi reintroducere) de date, care poate să depoziteze datele atâta timp cât asupra acestora se efectuează operaţii.

- Modul de executie a unui program de catre CPU :

- instructiunile executate **secvential** in ordinea in care sunt citite; unele instructiuni conduc la salturi;
- se pot utiliza **subrutine,** care au acelasi efect ca si instructiunea de salt; dupa executia acesteia se reia programul cu instructiunea urmatoare celeia dupa care s-a chemat subrutina; o subrutina poate apela la alta subrutina **(imbricare);**
- exista instructiuni ce sunt executate **conditionat**, functie de rezultatul unor instructiuni precedente;
- programul contine **functii aritmetice si logice de baza** pentru prelucrarea si manipularea datelor.

-Functiuni de baza ale CPU :

a) *Extragerea (citirea) din memorie a instructiunilor (**fetch – extragere**) si executia acestora (instructiunea este interpretata si sunt initiate actiunile asociate acesteia)*

- Reprezentarea numerelor – sistem binar sau hexazecimal
- Fluxul de date intre componentele microcontrolerului si intre acesta si exterior este controlat de **blocul de decodificare a instructiunii** si **blocul de generare a semnalelor de control** (constituie inima CPU si determina esential viteza de lucru a acestuia)

b) *Executarea de **operatii aritmetice si logice*** **-** Unitatea aritmetica si logica (**ALU-** arithmetic and logic unit) ; efectuarea operatiilor se face cu ajutorul unui registru special.

- ALU executa operatii doar pe 8 biti
- la unele microcontrolere exista modul hard de inmultire care functioneaza independent de CPU si este tratat ca I/O.

c) *Efectuarea operatiilor la care rezultatul nu se poate reprezenta pe un octet* – **Registru al indicatorilor de conditii** (flag register) utilizat in efectuarea conditionata a instructiunilor.

d) *Gestionarea intreruperilor* – **Sistemul de intreruperi** (interactiunea cu exteriorul determina uneori intreruperea executiei instructiunilor)

Cauza intreruperilor: factorul uman, modificarea starii unor procese (ex: action. unei tastaturi), conditii de timp etc.

7. Bus-ul – Magistrala de date şi adrese

-Rol şi funcţionalitate

Comunicatiile intre modulele microcontrolerului se realizeaza prin intermediul **bus-ului** (magistrale de adrese, date si control).

Din punct de vedere fizic, el reprezintă un grup de 8, 16, sau mai multe fire (panglică de fire speciale care permit transmisia de date la anumite viteze impuse).

Există două tipuri de bus-uri : **bus de adresă sau magistrală de adrese** (pe care circulă semnale sub formă de cod de adrese care adresează UM)

bus de date sau magistrală de date (pe care circulă datele preluate din UM şi urmează a fi depuse în regiştrii CPU spre a fi prelucrate servind totodată la conectarea tuturor blocurilor din interiorul microcontrolerului).

Din momentul de faţă putem avea o viziune clară asupra modului de interconectare şi funcţionare al celor două entităţi (UM si CPU) privite ca blocuri componente din cadrul microcontrolerului, deci putem introduce noţiunea de "**funcţionalitate"** ca parametru fictiv al microsistemului care a luat naştere prin prezentarea acestora(fig.5)

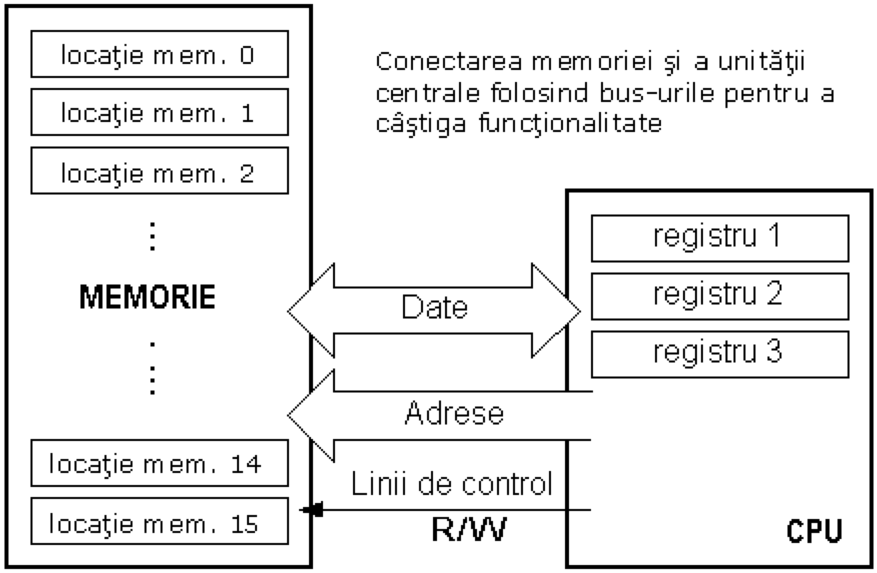


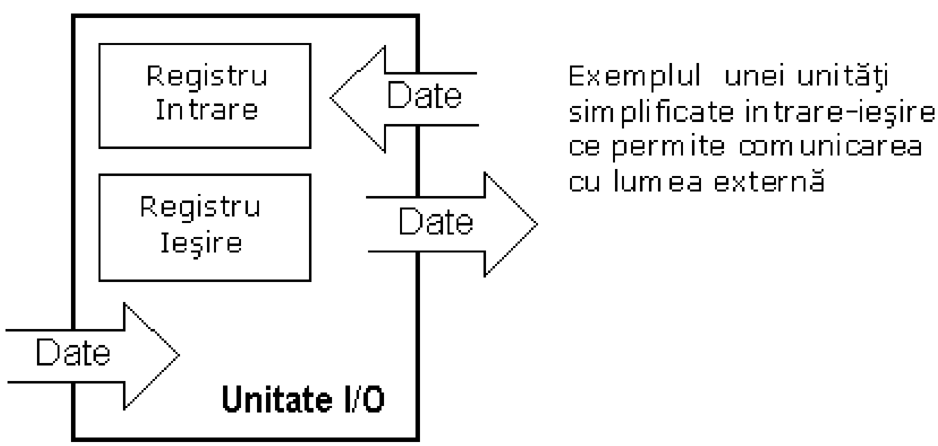
Fig.5

8. Sistemul de intrari/iesiri I/O

-Rol şi funcţionalitate

Acest sistem reprezinta un bloc ce conţine câteva locaţii de memorie a căror singur capăt este conectat la busul de date, iar celălat are conexiune cu liniile de ieşire la microcontroler ce pot fi văzute cu ochiul liber ca pini la componenta electronică.

Aceste locaţii care tocmai le-am adăugat sunt numite "**porturi**".
Sunt diferite tipuri: **intrare, ieşire sau pe două-căi.**
În timpul accesării, portul se comportă ca o locaţie de memorie



-Functii de baza indeplinite de microcontrolere in diverse aplicatii:

a) Citirea datelor din proces



Operatii specifice:

▪ ***Citirea unor date de tip numeric*:**

- starea unor contacte
- semnal numeric transmis de modulul de masurare ca urmare a unei prelucrari locale a datelor; citirea unor astfel de semnale se face pe un pin al microcontrolerului (denumit port de intrare in acest caz); Gruparea mai multor linii de porturi formeaza un **port paralel** (de regula 8 linii, uneori 4);
- continutul portului se regaseste intr-un registru special (SFR) asociat portului respectiv, aflat in memoria interna a microcontrolerului.

▪ ***Citirea unor date de tip analogic***

- Datele analogice pot fi standardizate (2…10 mA, 4…20 mA etc.) sau nu.

- Citirea semnalului se face pe un pin al microcontrolerului denumit **port analogic**;

- Modulul de conversie analog-numerica **ADC** (Analog Digital Converter) – semnalul este convertit digital;

- Pot fi mai multe porturi de intrare analogica dar exista, de regula, un singur ADC.

b) Transmiterea unor date spre proces

Operatii specifice:

▪ ***Transmiterea unor date de tip numeric***

- Se realizeaza cu ajutorul unui port programat ca ***port de iesire*** (porturile pot fi programate ca port de iesire, de intrare sau bidirectional); gruparea liniilor de port in porturi paralele permite transmiterea simultana de date.

▪ ***Transmiterea de date de tip analogic***

- In mod obisnuit, microcontrolerele nu au convertor digital-analog; implementarea se poate face in 2 moduri:

- utilizarea unui modul electronic comandat de un numar ‚n' de linii de port de iesire; in acest caz, se poate obtine un convertor digital-analog avand o rezolutie de ‚n' biti;

- utilizarea de impulsuri avand frecventa si latimea programabile (PWM – pulse width modulation) care pot fi integrate cu ajutorul unui modul integrator; impulsurile pot fi generate prin program, pe un port de iesire; unele microcontrolere contin intern blocuri de generare a semnalelor de tip PWM.

c) Citirea datelor de la utilizator

- Utilizatorul intervine asupra functionarii sistemului mecatronic prin transmiterea de la taste, butoane tip potentiometru etc. a unor date (parametri, date de calibrare, date privind regimul de functinare etc.) catre microcontroler.

- Preluarea datelor se face prin porturile de intrare de tip numeric sau analogic.

d) Transmiterea datelor spre utilizator

- Date trimise prin porturi paralele de iesire: date culese din proces (marimi masurate, starea unor contacte s.a.), date ce exprima marimi calculate, alarme etc.

- Afisare: leduri, afisaje tip 7 segmente, afisaje alfanumerice cu cristale lichide, sonore.

5. Unitatea de memorie UM

- Mod de funcţionare

Unitatea de memorie este acea parte a microcontrolerului care are funcţia de a înmagazina informaţia sub formă de date şi de a o face accesibilă (operaţie denumită "**Citire**") atunci când se doreşte acest lucru.

Introducem conceptul de "**locaţie de memorie**"

"**adresare**" ca operaţia de "**selectare**" sau "**desemnare**"

"**cod de adresă**"

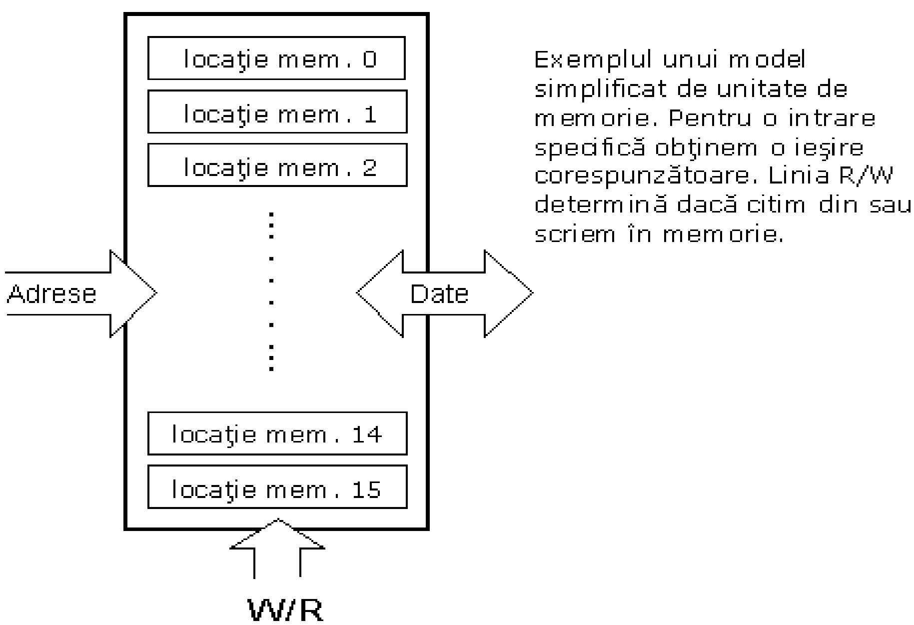


Fig.4

Pentru un anumit cod de adresă aplicat la intrarea " Adrese" (vezi figura 4) obţinem la ieşirea "Date", conţinutul sub formă de date a unei anumite locaţii de memorie adresate. Se poate spune deci că memoria este alcătuită din toate locaţiile de memorie şi adresarea nu este altceva decât alegerea uneia din ele.

- Variante de realizare a memoriei locale

- O celula de memorie de 1 bit este un circuit capabil sa mentina o stare logica (0 sau 1 logic)
- Gruparea a 8 celule de memorie de 1 bit reprezinta o memorie de 1 octet

a) Memoria ROM (Read only Memory)

- poate fi doar citita de CPU si este nevolatila ;

-se foloseste pt pastrarea programului si a datelor de tip constanta

- inscrierea programului in memorie se face cu un echipament denumit (E)PROM

PROM – se programeaza o singura data

EPROM – se poate programa de mai multe ori (de peste 100 ori)

- Pt stergere se utilizeaza dispozitiv „Stergator de EPROM"

- Majoritatea microcontrolerelor poseda ROM interna, de tip PROM sau EPROM; cea PROM specifica microcontrolerelor programabile o singura data – OTP;

b) Memoria RAM (Random Acces Memory)

- Poate fi citita si scrisa si este volatila ;

- Se utilizeaza pt pastrarea datelor; memoria este mica (64…512 octeti), dar pentru multe aplicatii este suficienta;

- Poate fi interna (poate fi impartita in mai multe zone cu functiuni diferite) si externa;

c) Memoria EEPROM (Electrically Erasable PROM)

– Sunt nevolatile; pot fi sterse electric fiind utile in sistemele cu microcontrolere pentru pastrarea unor date ce se modifica relativ rar (date de calibrare, constante de traductor etc.) sau pastrarea datelor masurate ;

- Timp de citire/scriere mai mare decat in cazul RAM;

- De regula este externa (ca masura de protectie) insa unele microcontrolere pot avea si EEPROM interna; in caz de defectare, datele pot fi citite de un alt microcontroler.

6. Unitatea centrală de procesare CPU

- Rol şi funcţionalitate

Este blocul din componenţa unui microcontroler capabil să acţioneze asupra conţinutului (datelor) uneia sau mai multor locaţii conţinute în unitatea de memorie UM, specializat pe operaţii (de adunare, înmulţire, împărţire, extragere şi reintroducere) de date, care poate să depoziteze datele atâta timp cât asupra acestora se efectuează operaţii.

- Modul de executie a unui program de catre CPU :

- instructiunile executate secvential in ordinea in care sunt citite; unele instructiuni conduc la salturi;
- se pot utiliza subrutine, care au acelasi efect ca si instructiunea de salt; dupa executia acesteia se reia programul cu instructiunea urmatoare celeia dupa care s-a chemat subrutina; o subrutina poate apela la alta subrutina (imbricare);
- exista instructiuni ce sunt executate conditionat, functie de rezultatul unor instructiuni precedente;
- programul contine functii aritmetice si logice de baza pentru prelucrarea si manipularea datelor.

-Functiuni de baza ale CPU :

a) *Extragerea (citirea) din memorie a instructiunilor (fetch – extragere) si executia acestora (instructiunea este interpretata si sunt initiate actiunile asociate acesteia)*

- Reprezentarea numerelor – sistem binar sau hexazecimal
- Fluxul de date intre componentele microcontrolerului si intre acesta si exterior este controlat de **blocul de decodificare a instructiunii** si **blocul de generare a semnalelor de control** (constituie inima CPU si determina esential viteza de lucru a acestuia)

b) *Executarea de operatii aritmetice si logice* - Unitatea aritmetica si logica (ALU- arithmetic and logic unit) ; efectuarea operatiilor se face cu ajutorul unui registru special, **acumulator** (A).

- ALU executa operatii doar pe 8 biti

c) *Efectuarea operatiilor la care rezultatul nu se poate reprezenta pe un octet* – **Registru al indicatorilor de conditii** (flag register) utilizat in efectuarea conditionata a instructiunilor.

d) *Gestionarea intreruperilor* – **Sistemul de intreruperi** (interactiunea cu exteriorul determina uneori intreruperea executiei instructiunilor)

Cauza intreruperilor: factorul uman, modificarea starii unor procese (ex: action. unei tastaturi), conditii de timp etc.

7. Bus-ul – Magistrala de date şi adrese

-Rol şi funcţionalitate

Comunicatiile intre modulele microcontrolerului se realizeaza prin intermediul **bus-ului** (magistrale de adrese, date si control).

Din punct de vedere fizic, el reprezintă un grup de 8, 16, sau mai multe fire (panglică de fire speciale)care permit transmisia de date la anumite viteze impuse.

Există două tipuri de bus-uri : **bus de adresă sau magistrală de adrese** (pe care circulă semnale sub formă de cod de adrese care adresează UM)

bus de date sau magistrală de date (pe care circulă datele preluate din UM şi urmează a fi depuse în regiştrii CPU spre a fi prelucrate servind totodată la conectarea tuturor blocurilor din interiorul microcontrolerului).

Din momentul de faţă putem avea o viziune clară asupra modului de interconectare şi funcţionare al celor două entităţi (UM si CPU) privite ca blocuri componente din cadrul microcontrolerului, deci putem introduce noţiunea de "funcţionalitate" ca parametru fictiv al microsistemului care a luat naştere prin prezentarea acestora(fig.5)

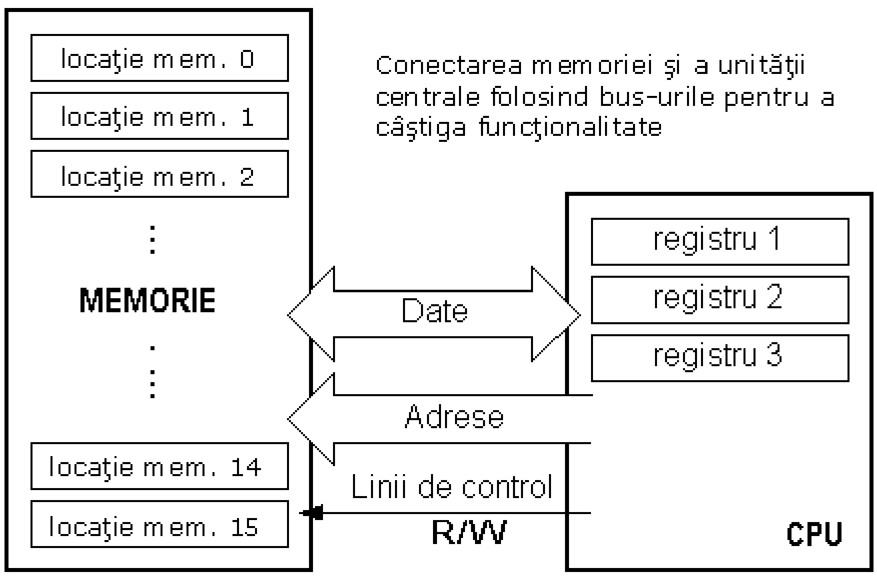


Fig.5

8. Sistemul de intrari/iesiri I/O

-Rol şi funcţionalitate

Se adăugă un bloc ce conţine câteva locaţii de memorie a căror singur capăt este conectat la busul de date, iar celălat are conexiune cu liniile de ieşire la microcontroler ce pot fi văzute cu ochiul liber ca pini la componenta electronică.

Aceste locaţii care tocmai le-am adăugat sunt numite "porturi".

Sunt diferite tipuri: intrare, ieşire sau pe două-căi.

În timpul accesării, portul se comportă ca o locaţie de memorie

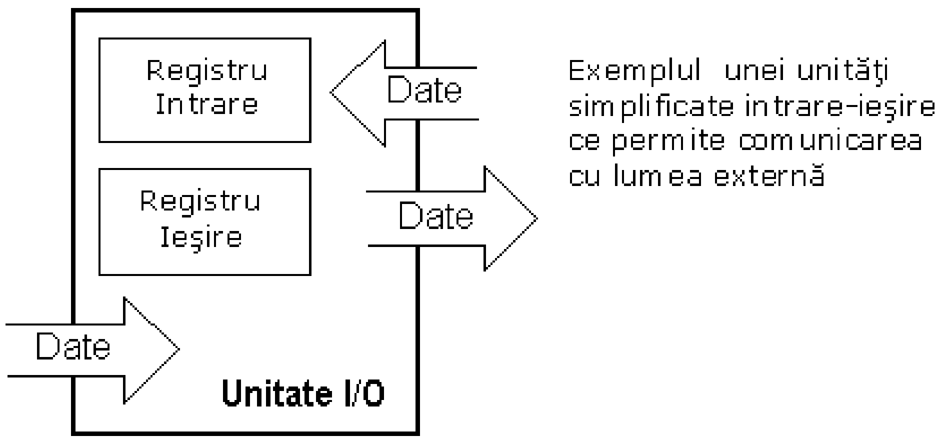


Fig.6

-Cerinte de baza pt microcontrolere in diverse aplicatii:

a) Citirea datelor din proces



Operatii specifice:

▪ *Citirea unor date de tip numeric*:

- starea unor contacte
- semnal numeric transmis de modulul de masurare ca urmare a unei prelucrari locale a datelor; citirea unor astfel de semnale se face pe un pin al microcontrolerului (denumit port de intrare in acest caz); Gruparea mai multor linii de porturi formeaza un **port paralel** (de regula 8 linii, uneori 4);
- continutul portului se regaseste intr-un registru special (SFR) asociat portului respectiv, aflat in memoria interna a microcontrolerului.

▪ *Citirea unor date de tip analogic*

- Datele analogice pot fi standardizate (2…10 mA, 4…20 mA etc.) sau nu.

- Citirea semnalului se face pe un pin al microcontrolerului denumit **port analogic**;

- Modulul de conversie analog-numerica ADC (Analog Digital Converter) – semnalul este convertit digital;

- Pot fi mai multe porturi de intrare analogica dar exista, de regula, un singur ADC.

b) Transmiterea unor date spre proces

Operatii specifice:

▪ *Transmiterea unor date de tip numeric*

- Se realizeaza cu ajutorul unui port programat ca *port de iesire* (porturile pot fi programate ca port de iesire, de intrare sau bidirectional); gruparea liniilor de port in porturi paralele permite transmiterea simultana de date.

▪ *Transmiterea de date de tip analogic*

- In mod obisnuit, microcontrolerele nu au convertor digital-analog; implementarea se poate face in 2 moduri:

- utilizarea unui modul electronic comandat de un numar ‚n' de linii de port de iesire; in acest caz, se poate obtine un convertor digital-analog avand o rezolutie de ‚n' biti;

- utilizarea de impulsuri avand frecventa si latimea programabile (PWM – pulse width modulation) care pot fi integrate cu ajutorul unui modul integrator; impulsurile pot fi generate prin program, pe un port de iesire; unele microcontrolere contin intern blocuri de generare a semnalelor de tip PWM.

c) Citirea datelor de la utilizator

- Utilizatorul intervine asupra functionarii sistemului mecatronic prin transmiterea de la taste, butoane tip potentiometru etc. a unor date (parametri, date de calibrare, date privind regimul de functinare etc.) catre microcontroler.
- Preluarea datelor se face prin porturile de intrare de tip numeric sau analogic.

d) Transmiterea datelor spre utilizator

- Date trimise prin porturi paralele de iesire: date culese din proces (marimi masurate, starea unor contacte s.a.), date ce exprima marimi calculate, alarme etc.
- Afisare: leduri, afisaje tip 7 segmente, afisaje alfanumerice cu cristale lichide, sonore.

e) Comunicatia cu alte sisteme de calcul

- Modalitatea de comunicare are si ea problemele ei. Una din acestea este numărul de linii ce trebuie să fie folosite pentru a transfera datele.

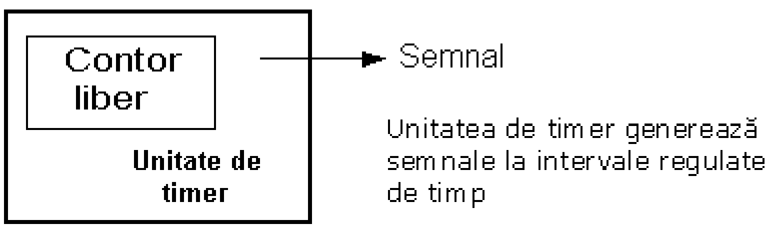
-Să presupunem că lucrăm doar cu 3 linii, şi că o linie este folosită pentru trimiterea de date, alta pentru recepţie şi a treia este folosită ca o linie de referinţă atât pentru partea de intrare cât şi pentru partea de ieşire. Pentru ca aceasta să funcţioneze, trebuie să stabilim regulile de schimb ale datelor.

Aceste reguli sunt numite protocol.

- Pentru că avem linii separate de recepţie şi de transmitere, este posibil să recepţionăm şi să transmitem date (informaţii) în acelaşi timp. Blocul ce permite acest mod de comunicare este numit blocul de comunicaţie serială.
- Realizare: interfete seriale RS232 sau RS485, interfete paralele, interfete seriale SPI, interfete pt comunicatie in infrarosu, interfete pt card, transmisie radio prin utilizarea unui modul RF.

9. Unitatea de timer

Odată rezolvată problema comunicaţiei seriale, putem recepţiona, trimite şi procesa date. Totuşi, ca să îl putem utiliza, în special în industrie, mai avem nevoie de câteva blocuri. Unul din acestea este blocul de timer care este important pentru noi pentru că ne dă informaţia de timp, durată, protocol etc



Unitatea de bază a timer-ului este un contor liber care este de fapt un registru a cărui valoare numerică creşte cu intervale de timp egale, aşa încât luându-i valoarea după intervalele T1 şi T2 şi pe baza diferenţei lor să putem determina cât timp a trecut.

Utilizari ale timerului

a) *Generarea unei intreruperi la intervale regulate de timp*

b) *Masurarea precisa a momentului producerii unor evenimente externe; captura logica*

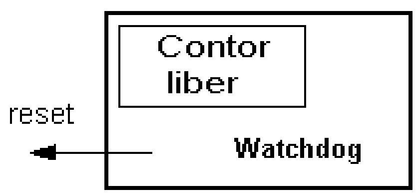
- Timerul este asociat cu un numar de registri de captura care copie continutul timerului in registru atunci cand, producandu-se evenimentul extern, se produce o tranzitie pe un pin de intrare asociat registrului.
- pinii de intrare asociati sunt linii de port I/O obisnuite avand ca functiune alternativa captura logica.; copierea se face automat daca timerul este programat in acest scop.

c) *Generarea unor semnale spre proces; comparatia logica*

- generarea acestora prin program poate fi imprecisa (existenta intreruperilor in sistem, dificultatea de a genera unele semnale prin program)

d) *Monitorizarea functionarii corecte a microcontrolerului (**watchdog** =ceas de garda)*

Să presupunem că urmare a unei anumite interferenţe (ce adesea se întâmplă în industrie- situatie similara este caderea tensiunii de alimentare) microcontrolerul nostru se opreşte din executarea programului, sau şi mai rău, începe să funcţioneze incorect.

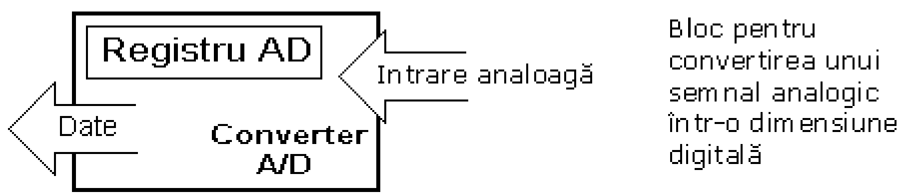


Acest bloc este de fapt un alt contor liber unde programul nostru are nevoie să scrie un zero ori de câte ori se execută corect. În caz că programul se "înţepeneşte", nu se va mai scrie zero, iar contorul se va reseta singur până la obţinerea valorii sale maxime. Acesta este un element important al fiecărui program ce trebuie să fie fiabil fără supravegherea omului.

10. Convertorul Analog-Digital

Pentru că semnalele de la periferice sunt substanţial diferite de cele pe care le poate înţelege (zero şi unu), ele trebuie convertite într-un mod care să fie înţeles de microcontroler.

Această sarcină este îndeplinită de un bloc pentru conversia analog-digitală sau de un convertor ADC. Acest bloc este responsabil pentru convertirea unei informaţii privind o anumită valoare analogă într-un număr binar şi pentru a o urmări pe tot parcursul la un bloc CPU în aşa fel ca blocul CPU să o poată procesa.



Convertoarele utilizate fac parte de regulă dintr-un sistem de achiziţie de date, existând şi un **multiplexor analogic** cu mai multe canale.

Rezoluţia disponibilă este de 8 sau 10 biţi cu precizia corespunzătoare numai pentru 8 (9) biţi, pentru **mărime de intrare unipolară**.

Există microcontrolere care utilizează tehnici de (re)calibrare pentru mărimea şi/sau menţinerea preciziei.

Tehnicile de conversie utilizate sunt: aproximaţii succesive (majoritatea) cu eşantionare implicită sau rampă digitală.

Există şi subsisteme locale care, în cazul când sunt prezente, pot fi folosite pentru implementarea unor alte tehnici de conversie (cu utilizarea unui număr minim de componente exterioare): numărătoare de impulsuri, circuite comparatoare

(analogice, standard), intrări de captare (forţează memorarea “captarea” valorii unui numărător care numără liber în momentul activării, permiţând măsurarea intervalelor de timp sau frecvenţelor, etc.

Convertoare numeric-analogice (CNA)

Practic singura tehnică de conversie numeric analogică care poate fi folosită este bazată pe modulaţia factorului de umplere (PWM). Există unul sau mai multe canale pe care se poate genera un tren de impulsuri cu factor de umplere programabil (0 -100%).

Canalele de tip PWM pot genera impulsuri a caror latime si perioada de repetitie este programabila. Iesirile tampon (buffer) PWM_i pot fi utilizate pentru:

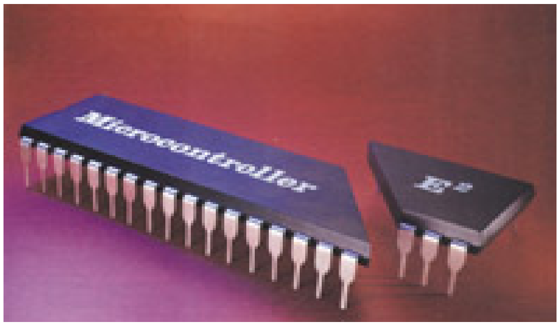
- controlul vitezei de rotatie a unui motor (viteza de rotatie va fi proportionala cu continutul registrului PWM_i;- realizarea conversiei numeric-analogice;- generarea de sunete.

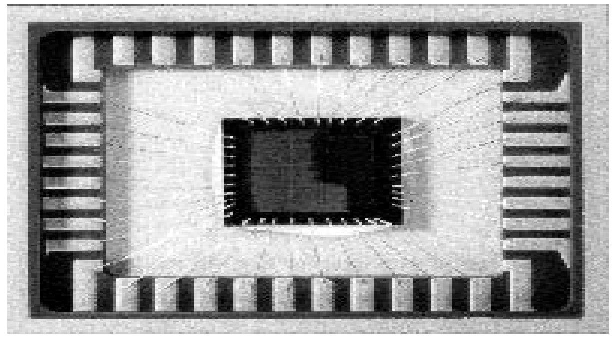
Eventual în acest scop se poate utiliza şi sistemul de timere/numărătoare.

Printr-o filtrare de tip trece jos, exterioară, se poate obţine o tensiune proporţională cu factorul de umplere.

11. Configuraţia fizică a interiorului unui microcontroler

Astfel microcontrolerul este acum terminat, şi tot ce mai rămâne de făcut este de a-l pune într-o componentă electronică unde va accesa blocurile interioare prin pinii acestei componente. Imaginile de mai jos ne sugerează cum arată un microcontroler la exterior şi în interior.





Liniile subţiri ce merg din interior către părţile microcontrolerului reprezintă fire conectând blocurile interioare cu pinii capsulei microcontrolerului.

12. Programarea microcontrolerelor

- Programul este o secventa de instructiuni prin care i se „spune" ce sa faca ;
- Aceste instructiuni sunt exprimate sub forma de succesiuni de cifre binare (0 si 1) – limbaj cod masina (programare dificila) ;
- Crearea limbajelor de asamblare (exprimarea instructiunilor sub forma simbolica) usureaza munca de programare, permitand totodata utilizarea codificarii simbolice pentru spatii de memorie sau porturi ;
- Regulile de scriere ale programului (numit si *program sursa*) formeaza *sintaxa* programului ;
- Operatia de translare din limbajul simbolic in cod masina se numeste *asamblare* cu ajutorul unui *program asamblor*
- Programul in cod masina – *program obiect*

Aplicatii: controlul digital al motoarelor, medicina, aparatura electrocasnica, industria autovehiculelor, etc…

In ultimii ani s-au dezvoltat o serie de sisteme microelectromecanice, denumite generic **MEMS (Micro Electro Mechanical Systems).** MEMS-urile sunt fabricate cu tehnologiile specifice circuitelor integrate şi cuprind sisteme mai mici de 100 micrometri.

Intră în această categorie: microsensori, microactuatori, micromotoare, micropompe, microtrenuri cu roţi dinţate, micromanipulatoare,etc.

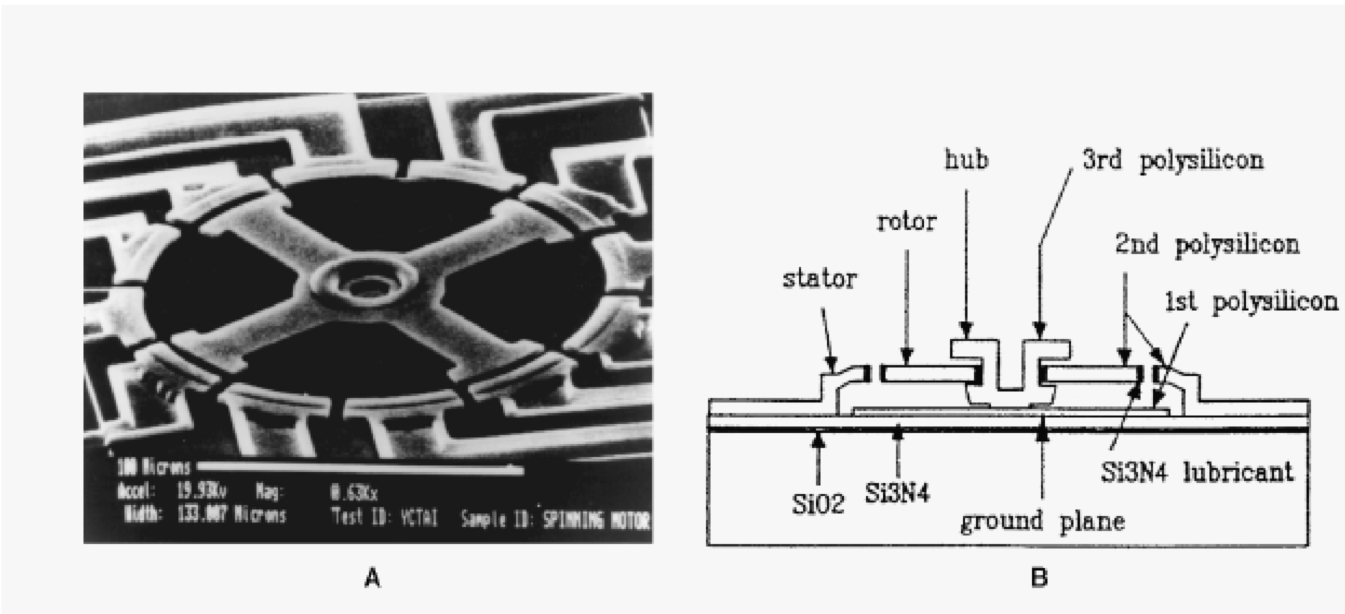


Fig. 7 Micromotor

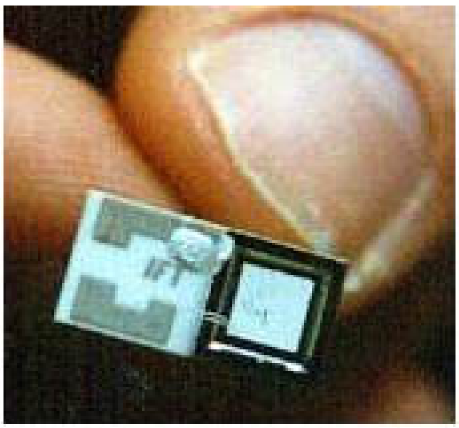
In fig. 7 se prezintă un micromotor fabricat la MIT-UC Berkeley, cu rotorul de 120 micrometri, cu un joc dintre rotor si stator de 2 micrometri, capabil să se rotească până la 2500 rot/min şi să dezvolte un cuplu de 12Nm. Rezistenţa la uzare şi frecarea dintre rotor şi stator sunt esenţiale în asigurarea fiabilităţii unui asemenea micromotor.

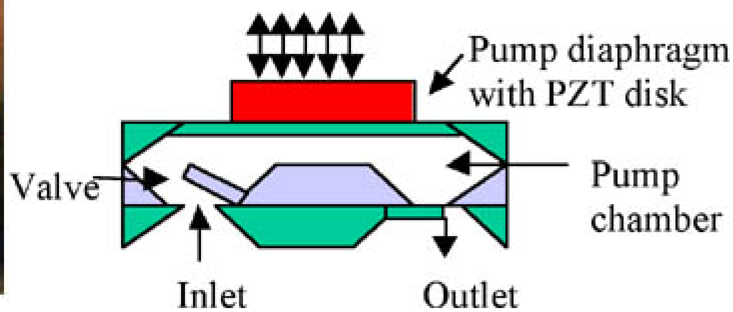
MEMS-urile tind sa revolutioneze orice categorie de produse prin cuplarea microelectronicii bazata pe siliciu cu microtehnologiile de fabricatie rezultand asa numitele **systems-on-a-chip**.

Circuitele integrate microelectronice sunt “ creierul” microsistemelor iar MEMS-urile maresc capacitatea de a lua decizii cu ajutorul “ochilor” - senzorii si cu ajutorul “bratelor” – actuatorii.

Exemple:

1.Micropompa piezoelectrica



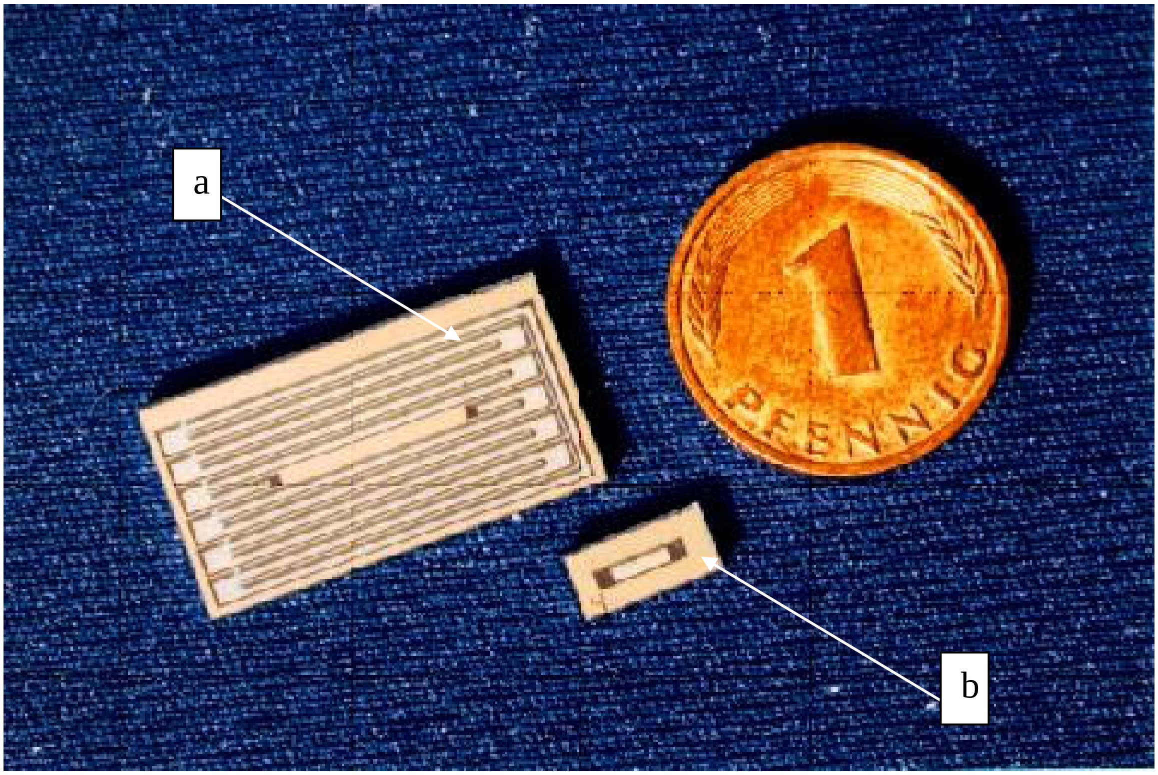


a b

(a) Se ilustreaza marimea micropompei

(b) Principiul de lucru: o piesa din material piezoelectric actioneaza asupra difragmei de silicon a pompei. Supapele de admisie si iesire se deschid alternativ dupa cum presiunea in camera pompei oscileaza.

2. Reactorii chimici miniaturizati contin reactivii care inhiba actiunea unor compusi biochimici reactivi (enzime, antigeni si anticorpi). Peretii acestor reactori sunt imbracati cu substante chimice reactive.



Prima si a doua generatie de microreactori.

(a) prima generatie: **220 mm^2** suprafata

(b) a doua generatie: **24.5 mm^2** suprafata

A treia generatie va fi redusa la o suprafata de 8 mm^2.